

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК

НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"

Серія: «Механіко-технологічні системи та комплекси»

№ 49(1158)2015

Збірник наукових праць

Видання засноване в 1961 р.

Харків
НТУ «ХПІ», 2015

Вісник Національного технічного університету «ХПІ».Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ „ХПІ” – 2015р. - №49(1158) – 202 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ №5256 від 2 липня 2001 року

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ» внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Постановою президії ВАК України від 26 травня 2010 р., № 1 – 05/4 (Бюлетень ВАК України, № 6, 2010 р., с. 3, № 20).

Координаційна рада:

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (**голова**);

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**);

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, член-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.; Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Грабчснко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П.О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Ніколаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф., Ю. В. Тимофієв, д-р техн. наук, проф., М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: Дьомін Д. О., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»;

Заст. відповідального редактора: Акімов О. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків,

Відповідальний секретар: Пензев П. С., НТУ «ХПІ»;

Члени редколегії: Березуцький В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Дмитрік В. В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Доценко Ю. В., канд. техн. наук, НМетАУ, Дніпропетровськ, Дудніков А. А., канд. техн. наук, ПДАА, Полтава, Заблоцький В. К., д-р техн. наук, ДДМА, Краматорськ, Заміховський Л. М., д-р техн. наук, ІФТУНГ, Івано-Франківськ, Погрібний М. А., проф., НТУ «ХПІ», Харків, Пономаренко О. І., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Харків, Селівьорстов В. Ю., НМетАУ, Дніпропетровськ, Соболь О. В., д-р фіз.-мат. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Шоман О.В., д-р техн. наук, НТУ «ХПІ», Харків, Jozef Voynarovsky, проф., Сілезького політехнічного інституту, Польща, Rab Nawaz Lodhi, проф. Bahria University Islamabad Pakistan, Пакистан, Меркер Е. Е., д-р техн. наук, Старооскольський технологічний інститут – філія Національного дослідницького технологічного інституту «Московський інститут сталі і сплавів», Росія

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ „ХПІ”

Протокол №10 від «27» листопада 2015 р.

©Національний технічний університет „ХПІ”, 2015

УДК 621.762.4.016:669.15

А. А. ВНУКОВ

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СПЕЧЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Fe-Cu-C, ПОЛУЧЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ЛЕГИРОВАНИЯ

Рассмотрены основные способы легирования порошковых конструкционных сталей. Исследован комплекс физических и механических свойств спеченных конструкционных материалов на основе железа, полученных с применением различных технологических приемов легирования медью и углеродом: механического смешивания, механосинтеза и омеднения. Проведен сравнительный анализ свойств полученных материалов и определен оптимальный способ легирования. Результаты исследований могут быть использованы при создании спеченных сталей и сплавов с повышенными эксплуатационными свойствами

Ключевые слова: спеченные стали, легирование, железный порошок, медный порошок, графит, механосинтез, омеднение

Введение. Развитие современной техники предъявляет все более жесткие требования к материалам, работающим в условиях высоких давлений, скоростей, деформаций, агрессивных сред и т.д. Использование методов порошковой металлургии при создании новых материалов позволяет обеспечить оптимальное сочетание технологии получения, структурных и рабочих характеристик. При этом обеспечивается минимум потерь металла, снижается себестоимость изделий. Среди материалов, получаемых методами порошковой металлургии, большой интерес представляют используемые в машиностроении порошковые стали. Они обладают высокой прочностью (приближающейся к прочности изделий, изготовленных из проката или литьем) в сочетании с хорошей пластичностью, вязкостью, низкой склонностью к хрупкому разрушению [1-3].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Легирование порошковых сталей в отличие от литых имеет ряд характерных особенностей, обусловленных спецификой их получения. Структура порошковых легированных сталей и их свойства зависят от способов получения сталей и технологических особенностей получения. Можно назвать следующие основные способы получения порошковых легированных сталей: приготовление поликомпонентных смесей из порошков железа и легирующих элементов и последующая их обработка; применение легированных порошков железа, к которым в случае необходимости добавляют углерод (обычно графит) или другие легирующие элементы; пропитка жидкими легирующими металлами или диффузионное насыщение каркасов, спеченных из порошков железа.

Каждый из способов имеет свои преимущества и недостатки. Наиболее высоким уровнем свойств обладают стали, полученные из готовых легированных порошков. Они имеют однородную структуру, а распределение элементов в сплаве отличается высокой степенью гомогенности. Однако легированные порошки плохо прессуются, их производство организовано еще в недостаточно широких масштабах, и они имеют высокую стоимость.

Наибольшее распространение из-за простоты технологии и малой стоимости получил первый способ. Недостатком этого метода является необходимость длительных выдержек в процессе спекания для получения гомогенной структуры сплавов. Однако не все-

гда требуется достижение комплекса свойств, который характерен для полностью гомогенизированной стали. Во многих случаях вполне достаточно проведение «малоинтенсивного», но экономически выгодного спекания.

Поскольку процесс гомогенизации не успевает полностью произойти во время спекания сталей, полученных из смесей компонентов, это должно повлечь за собой образование неоднородной структуры. Наличие неоднородности наряду с пористостью в целом делает систему неравновесной, что должно оказывать специфическое влияние на характер процессов, протекающих при нагреве и охлаждении порошковых сталей.

Медь является одним из самых важных в порошковой металлургии легирующих элементов, в то время как в производстве литой стали она играет второстепенную роль. Это связано с особенностями порошковых сталей, обуславливающими различия в целях легирования литых и порошковых сталей [1, 2].

При получении медистой порошковой стали большое влияние на свойства оказывает углерод, который обычно вводят в композицию перед прессованием. При одновременном введении меди и графита твердость и прочность повышаются сильнее, чем это можно ожидать при использовании каждого из этих элементов в отдельности. Введение графита в железомедистую композицию уменьшает рост при спекании, а присадка меди к брикетам уменьшает обезуглероживание. Введение меди в железографитовый материал способствует получению более однородной структуры [4], уменьшает усадку, стабилизирует размеры деталей, увеличивает твердость. Это приводит соответственно к получению более высокого уровня свойств медистых сталей по сравнению с железографитом [5].

В настоящее время есть необходимость более широкого внедрения в производство порошковых легированных сталей. В литературе имеются публикации по свойствам этих материалов, способам легирования [1-3]. Однако их разрозненность затрудняет использование этих данных при разработке новых порошковых легированных сталей и внедрении их в производство. В связи с этим представляется целесообразным проведение исследований по изучению влияния способов легирования на свойства порошковых сталей.

Цель и задачи исследования. Целью исследований является получение спеченного конструкционного

материала на основе железа с максимальным уровнем физических и механических характеристик.

Задача работы – изучить влияние способа легирования на свойства спеченных конструкционных материалов на основе системы Fe-Cu-C.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задания:

- определить физические и механические свойства исследуемых материалов;
- провести сравнительный анализ свойств исследуемых материалов, полученных с применением различных способов легирования, и выбрать наиболее оптимальный способ.

Материалы и методы исследования. Исследовали материал марки Fe-5%Cu-0,7%С, соответствующий по химическому составу порошковой стали марки СП70Д5 [6] и полученный с использованием различных способов легирования. Применяли три способа легирования: механическое смешивание исходных порошков, механосинтез и омеднение порошка стали. Механическое смешивание осуществляли в барабанном смесителе типа «пьяная бочка», механосинтез - в планетарной шаровой мельнице. Омеднение порошка стали 45 производили в растворе, содержащем медный купорос и серную кислоту.

Для получения опытных образцов в работе были использованы следующие порошковые материалы: порошок железный распыленный марки ПЖР 3.200.28 (ГОСТ 9449-89) [7]; порошок медный электролитический марки ПМС-1 (ГОСТ 4960-75) [8]; порошок стали 45 распыленный; графит карандашный марки ГК-1 (ГОСТ 4404-78) [9].

Опытные образцы получали однократным холодным прессованием с последующим спеканием. Режимы прессования и спекания для всех исследуемых образцов были одинаковыми.

После исследовали следующие свойства опытных образцов: объемная усадка (ГОСТ17359-82); пористость (ГОСТ 18898-89); прочность на разрыв (ГОСТ 18227-85); твердость по Бринеллю (ГОСТ 9012-59); прочность на изгиб (ГОСТ 18228 – 72).

Результаты исследования. Результаты определения физических свойств исследуемых материалов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты исследования физических свойств материалов

Способ легирования	Физические свойства	
	объемная усадка $\Delta V/V$, %	пористость P , %
Смешивание	4,0-5,0	15-18
Механосинтез	0,8-1,2	7-8
Омеднение	2,7-3,0	9-11

Таблица 2 – Результаты исследования механических свойств материалов

Способ легирования	Механические свойства		
	прочность на разрыв σ_B , МПа	прочность на изгиб σ_{II} , МПа	твердость по Бринеллю HB , МПа
Смешивание	260-265	310-320	450-460
Механосинтез	300-310	470-480	780-790
Омеднение	350-360	500-510	610-620

Согласно полученным результатам самыми высокими физическими свойствами (наименьшая усадка и невысокая пористость) обладает материал, полученный путем легирования механосинтезом.

Металлографический анализ подтверждает полученные данные. На рис. 1 представлены микроструктуры исследуемых материалов.

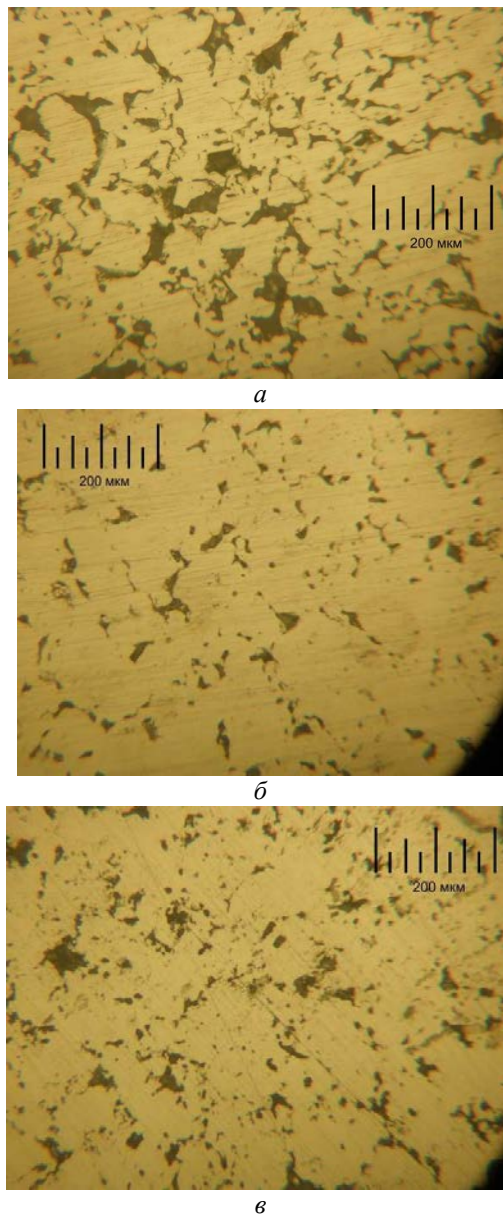


Рис. 1 – Микроструктура опытных образцов, полученных с применением различных способов легирования ($\times 800$): а – смешивание; б – механосинтез; в - омеднение

Результаты определения механических свойств исследуемых материалов приведены в табл. 2.

Согласно полученным результатам наивысшим уровнем механических характеристик обладает материал, полученный из омедненного порошка стали 45. Несмотря на более высокий уровень пористости, чем у материала полученного с применением механосинтеза, прочностные характеристики спеченной омедненной Ст45 значительно выше. Это связано со структурой полученных материалов, формирование которой в значительной степени зависит от равномерности распределения легирующих элементов. Углерод растворен в порошке стали 45, а омеднение дает возможность распределить медь в объеме прессовки с высокой степенью однородности. Это дает возможность получить после спекания структуру легированного феррита с равномерно распределенными включениями перлита, что и обуславливает высокий уровень механических свойств.

На рис. 2 приведены микрофотографии структур исследуемых материалов, полученные с применением средств растровой электронной микроскопии.

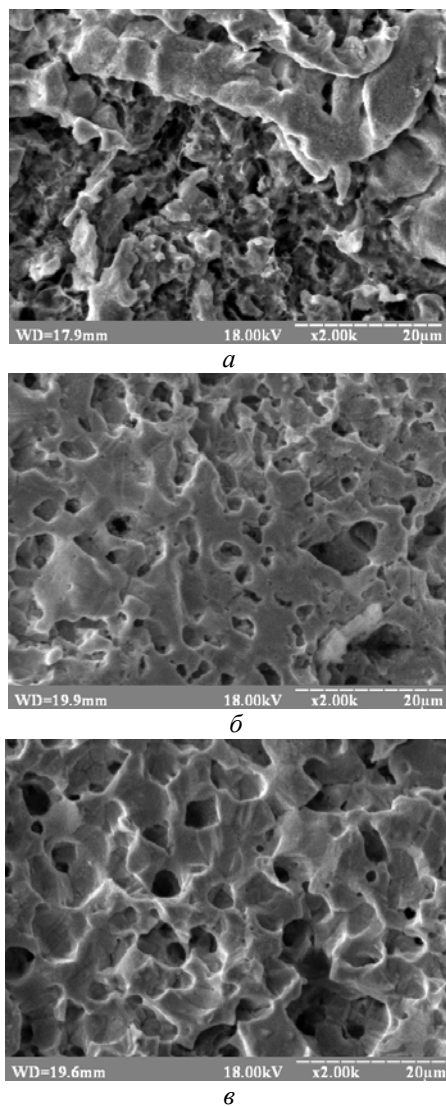


Рис. 2 – Структура исследуемых материалов: а – смешивание; б – механосинтез; в – омеднение

Таким образом, для промышленного производства спеченных конструктивных медистых сталей

можно рекомендовать применение омеднения, как способа легирования медью.

Это связано не только с высоким уровнем механических свойств сталей, полученных при использовании такого способа легирования. Это также экономически выгодно, т.к. применение омеднения позволяет отказаться от использования для легирования дорогостоящего и дефицитного медного порошка.

Кроме того, омеднение дает возможность значительно повысить формуемость порошка стали 45 (рис. 3 [10]) и использовать для его формирования более простое с аппаратурной точки зрения холодное прессование взамен изостатического.

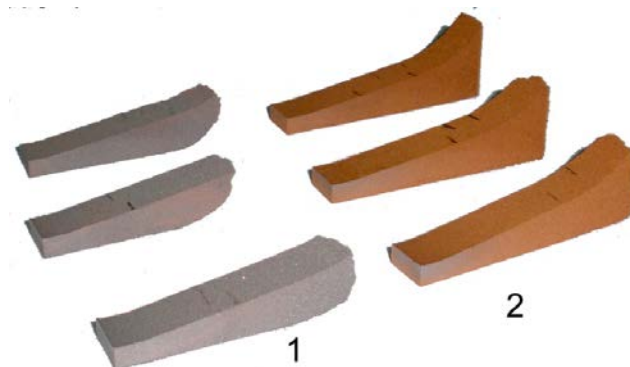


Рис. 3 – Общий вид образцов порошков после испытания на формуемость: 1 – порошок Ст45; 2 – омедненный порошок Ст45

Выводы

1. Образцы, полученные путем легирования механосинтезом, обладают самыми высокими физическими свойствами (обладают наименьшей усадкой и невысокой пористостью). Материал, полученный путем легирования механическим смешиванием, обладает самыми низкими физическими свойствами.

2. Наивысшим уровнем механических характеристик обладает материал, полученный из омедненного порошка стали 45. Несмотря на более высокий уровень пористости, чем у материала полученного с применением механосинтеза, прочностные характеристики спеченной омедненной Ст45 значительно выше.

3. Для промышленного производства спеченных конструктивных медистых сталей можно рекомендовать использование омедненного порошка, как способа легирования медью. Это связано не только с высоким уровнем механических свойств такого материала, но и экономически выгодно.

Список литературы: 1. Анциферов, В. Н. Порошковые легированные стали [Текст] / В. Н. Анциферов, В. Б. Акименко, Л. М. Гревнов – М.: Металлургия, 1991. – 318 с. 2. Ермаков, С. С. Порошковые стали и изделия [Текст] / С. С. Ермаков, Н. Ф. Вязников – Л.: Машиностроение, 1990. – 319 с. 3. Анциферов, В. Н. Спеченные легированные стали [Текст] / В. Н. Анциферов, В. В. Акименко – М.: Металлургия, 1983. – 88 с. 4. Анциферов, В. Н. Структура спеченных сталей [Текст] / В. Н. Анциферов, Т. Г. Черепанова – М.: Металлургия, 1981. – 112 с. 5. Федорченко, И. М. Композиционные спеченные антифрикционные материалы [Текст] / И. М. Федорченко, Л. И. Пугина – Киев: Наукова думка, 1980. – 401 с. 6. Радомысльский, И. Д. Конструктивные порошковые материалы [Текст] / И. Д. Радомысльский, Г. Г. Сердюк, Н. И. Щербань – Киев: Техника, 1985. – 152 с. 7. Акименко, В. Б. Железные порошки. Технология, структура, свойства, экономика [Текст] / В. Б. Акименко, В. Я. Буланов, В. В. Рукин – М.: Наука, 1982. – 246 с. 8. Порошки цветных металлов:

справ. изд. / под ред. С. С. Набойченко – М.: Металлургия, 1997.– 542 с. **9.** Степанчук, А. Н. Технология порошковой металлургии [Текст] / А. Н. Степанчук, И. И. Билык, П. А. Бойко – Киев: Вища школа, 1989. – 415 с. **10.** Кетов, В. М. Исследование влияния способа легирования медью на свойства порошковых шихт и характеристики спеченных материалов на основе железа [Текст] / В. М. Кетов, А. А. Внуков, Е. И. Демченко, И. Г. Рослик // Сборник докладов Международного симпозиума «Инженерия поверхности. Новые порошковые композиционные материалы. Сварка» – Минск – 23-25 марта 2011. – С. 153-157.

Bibliography (transliterated): 1. Antsyferov, V., Akimenko, V., Grevnov, L. (1991). Poroshkovye legirovannye stali, 318 p. 2. Yermakov, S., Vyaznikov N. (1990). Poroshkovye stali i izdeliya, 319 p. 3.

Antsyferov, V., Akimenko, V. (1983). Spechennye legirovannye stali, 88 p. 4. Antsyferov, V., Cherepanova, T. (1981). Struktura spechennyh staley, 112 p. 5. Fedorchenko, I., Pugina, L. (1980). Kompozitsyonnye spechennye antifriktsyonnye materialy, 401 p. 6. Radomyselckiy, I., Serdyuk, G., Scherban, N. (1985). Konstruktsyonnye poroshkovye materialy, 152 p. 7. Akimenko, V., Bulanov, V., Rukin, V. (1982). Zheleznye poroshki, 246 p. 8. Naboychenko, S. (1997). Poroshki tsvetnyh metallov: sprav. izd, 542 p. 9. Stepanchuk, A., Bilyk, I., Boyko, P. (1989). Tehnologiya poroshkovoy metallurgii, 415 p. 10. Ketov, V., Vnukov, A., Demchenko, I., Roslik, I. (2011). Issledovanie vliyaniya sposoba legirovaniya mediyu na svoystva shiht i harakteristiki spechennyh materialov na osnove zheleza. Sbornik dokladov mezhdunarodnogo simpoziuma «Inzheneriya poverhnosti. Novye poroshkovye kompozitsyonnye materialy. Svarka», Minsk, 153-157.

Поступила (received) 22.10.2015

Сведения об авторах / Відомості про авторів / About the Authors

Внуков Александр Александрович – кандидат технических наук, Национальная металлургическая академия Украины, доцент кафедры "Покрытий, композиционных материалов и защиты металлов"; пр. Гагарина, 4, г. Днепропетровск, Украина, 49600; тел.: 050-138-33-59; e-mail: alvnukov@yandex.ru.

Внуков Олександр Олександрович – кандидат технічних наук, Національна металургійна академія України, доцент кафедри "Покриттів, композиційних матеріалів та захисту металів"; пр. Гагаріна, 4, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600; тел.: 050-138-33-59; e-mail: alvnukov@yandex.ru.

Vnukov Alexander – candidate of technical sciences, National Metallurgical Academy of Ukraine; Gagarin av., Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600; tel.: 050-138-33-59; e-mail: alvnukov@yandex.ru.

УДК 661.185-3:677.021.127

А. Ф. БУЛАТ, В. А. ИВАНОВ, К. С. ГОЛОВ, В. А. ТКАЧЕНКО, Е. И. СТЕПАНЕНКОВ

ФЕНОМЕНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРАТАЦИИ ФОСФОГИПСОВОЙ МАТРИЦЫ С РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ НА ЕЕ РАДИАЦИОННО-ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА

Обоснована адекватность предложенной феноменологической модели, в соответствии с которой гидратация фосфогипсовой матрицы приводит к аномально высокому, по сравнению с классическим законом Бугера, росту сечения взаимодействия рентгеновского излучения с радиационно-защитным (РЗ) наполнителем в виде редкоземельных элементов (РЗЭ). Установлена зависимость изменения уровня защиты персонала от рентгеновского излучения конструкциями из композиционного материала на основе фосфогипса от концентрации РЗЭ в нём и плотности материала.

Ключевые слова: фосфогипсовая матрица, гидратация, кристаллизация, наполнитель, редкоземельные элементы, структура, радиационная-защита, ультрадисперсные частицы.

Введение. Впервые эффект аномального ослабления интенсивности проникающего, в частности, рентгеновского излучения был установлен при его взаимодействии с ультрадисперсными частицами (УДЧ) радиационно-защитного (РЗ) наполнителя в диэлектрической матрице. При этом было зафиксировано непрямолинейное распространение рентгеновского излучения по геометрии криволинейного слоя УДЧ РЗ наполнителя, следствием чего является увеличение длины пробега квантов излучения внутри композиционной диэлектрической матрицы и, что естественно, сопровождается аномальным ростом сечения взаимодействия рентгеновского излучения с указанной матрицей. В дальнейшем было установлено [1], что указанный эффект при определенной концентрации УДЧ наблюдается и в полидисперсной смеси частиц РЗ наполнителя. Зафиксированные при этом аномально высокие РЗ свойства композиционной матрицы по сравнению со свойствами, регламентируемыми классическим законом Бугера, авторы [1] объяснили электростатическим взаимодействием поляризованных частиц полидисперсной смеси РЗ наполнителя. Таким образом, из частиц полидисперсной смеси РЗ напол-

нителя самоорганизуется система энергетически взаимосвязанных ансамблей, которые обладают способностью отклонять кванты излучения от прямолинейного распространения и, как следствие, аномально ослаблять интенсивность проникающего излучения [2].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Углубляясь в анализ литературных источников и сравнение разрабатываемых материалов с аналогами, в нашем случае в качестве гидратирующей матрицы, вмещающей РЗ наполнитель, использовалась электропроводная среда в виде фосфогипсового теста [3, 4], которое только после окончания формирования прочных фазовых контактов и сушки приобретает диэлектрические свойства. В результате при взаимодействии рентгеновского излучения с указанной матрицей, содержащей в достаточном количестве УДЧ РЗ наполнителя, также проявляется вышеупомянутый эффект. Однако, в данном случае механизм реализации этого эффекта совершенно иной, чем это имеет место в источнике [1].

Цель и задачи исследования. Оценка влияния структурирующейся при гидратации фосфогипсовой

© А. Ф. Булат, В. А. Иванов, К. С. Голов, В. А. Ткаченко, Е. И. Степаненков. 2015

матрицы на РЗ свойства композиционных материалов выполнялась путём тестирования РЗ свойств [5] их образцов на рентгеновском оборудовании с последующим фотографированием кристаллической структуры с помощью растрового электронного микроскопа. При таком подходе представляется цель, заключающаяся в изучении влияния процесса гидратации фосфогипсового вяжущего на приобретаемые композиционными материалами РЗ свойства. При этом обосновано формирование из частиц РЗ наполнителя в виде РЗЭ кристаллической структуры матрицы, такой результирующей структуры композиционного материала, которая соответствует наибольшему уровню величинам РЗ свойств.

Материалы и методы исследований влияния компонентов композиционного материала на РЗ свойства. В процессе проведения сравнительных экспериментальных исследований в настоящей работе предпринята попытка создания композиционных материалов на основе фосфополугидрата сульфата кальция и чистого полугидрата сульфата кальция. Причём чистый полугидрат сульфата кальция, исходные свойства которого регламентируются рядом ГОСТов [2, 3], был выбран нами, прежде всего, с целью сравнительной оценки РЗ характеристик композиционного материала, получаемого на основе использования исходного сырья в виде фосфополугидрата. Фосфополугидрат отличается от стандартного чистого полугидрата лишь наличием примесей. Вполне понятно, что путём очистки фосфополугидрата от примесей можно получить стандартный чистый полугидрат, широко применяемый в настоящее время в строительной индустрии. Однако процесс очистки фосфополугидрата от примесей связан с привлечением довольно трудоёмких и энергозатратных технологических процессов. В ряде случаев необходимость такой очистки не требуется, т.к. при изготовлении довольно широкой номенклатуры РЗ конструкций промышленного назначения в качестве исходного сырья может быть использован и неочищенный фосфополугидрат. В процессе исследований фосфогипс для изготовления экспериментальных образцов подвергался диспергированию с последующей дегидратацией его до фосфополугидрата. В промышленных масштабах выполнение указанных операций необходимо для придания фосфогипсу вяжущих свойств с последующим использованием его в качестве исходного сырья для получения РЗ конструкций промышленного назначения.

Методики определения показателей образцов. Использованные нами методики изготовления экспериментальных образцов размером 10x10x1,2 см и массой 100–120 г на основе как фосфополугидрата, так и чистого полугидрата сульфата кальция идентичны. Подготовка, проведение и обработка результатов исследований выполнялась согласно методикам и требованиям, изложенным в государственных стандартах и в рекомендациях по обработке результатов экспериментов [4].

Фосфополугидрат сульфата кальция в состоянии поставки на предварительном этапе подвергали сушке в сушильном шкафу при температуре 50 °С в течение 1 часа. Такой режим сушки является достаточным для выведения из фосфогипсового вяжущего избыточной

влаги, что является обязательным перед проведением предэксплуатационного тестирования гипсового вяжущего.

Для обеспечения точности необходимого сочетания по массе компонентов в РЗ композиционном материале взвешивание исходных компонентов осуществляли на прецизионных весах WPS 210/C/1. Затем приготавливали суспензию РЗ наполнителя в воде с тщательным ее перемешиванием шнеком в течение 5–10 с до достижения однородности состава, после чего ее выдерживали без какого-либо воздействия в течение 10–20 с в целях предварительного самоудаления пузырьков воздуха. В подготовленную таким образом суспензию вводили расчётное количество фосфополугидрата сульфата кальция и снова перемешивали до получения однородного теста. После этого тесто заливали в прямоугольную форму. Сама же форма находилась на вибростоле, при работе которого происходило окончательное удаление пузырьков воздуха и уплотнение фосфогипсового теста. Свежеприготовленную композицию подвергали прокатыванию вальцами для окончательного формирования прямоугольной формы и удаления избыточного теста.

Отверждение образцов осуществлялось при комнатной температуре на воздухе в течение 20 минут, а последующая сушка осуществлялась в сушильном шкафу 2В-151 при температуре 50–60 °С до приобретения образцами постоянной массы.

В заключение образцы подвергали шлифовке с доведением их до заданной толщины.

Тестирование РЗ свойств образцов проводилось на рентгеновской установке типа «РУМ-20», в которой используется тормозное рентгеновское излучение вольфрамового анода при напряжении в диапазоне 40–125 кВ. При этом источником указанного излучения при различных режимах являлась рентгеновская трубка типа «БД21-150» в составе рентгеновского диагностического излучателя «РИД-2-2».

Для характеристики РЗ свойств исследуемых композиционных материалов, по установившейся практике, использовали величину свинцового эквивалента в мм. Учитывая тот факт, что результаты исследований предназначены для реализации в конструкциях, эксплуатируемых в рентгенологических кабинетах, в частности, в качестве сердечников дверей, обшивки стен, ставней, экранов и др., тестирование образцов проводилось согласно «Инструкции по контролю защитных средств и материалов, используемых при рентгенодиагностике» [4]. Согласно Инструкции материалы, применяемые в рентгенодиагностике, подвергаются тестированию при следующих режимах: ускоряющее напряжение – 100 кВ, количество электричества 10 мА·с, продолжительность экспонирования 0,32 с. Для тарировки величин свинцового эквивалента в качестве эталона был выбран свинец марки СО по ГОСТ 3778-98.

Для оценки РЗ свойств образцов проводился сравнительный анализ плотности почернения негатива рентгеновской пленки с изображением эталонного свинцового ослабителя и каждого из исследуемых образцов композиционного РЗ материала. Для этого было использовано сканирующее устройство EPSON Perfection V700 Photo, с помощью которого был полу-


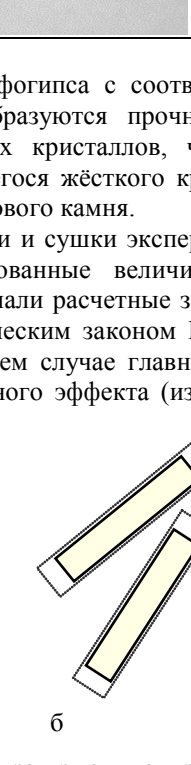
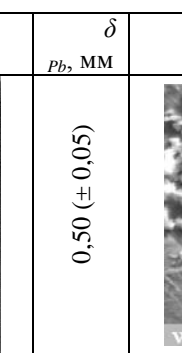
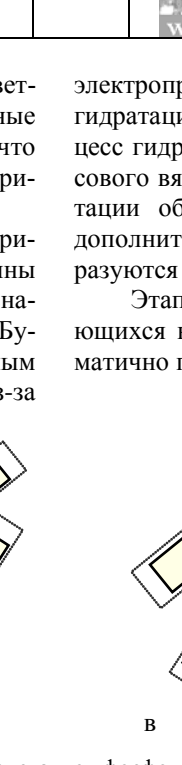
чен электронный (растровый) вариант негатива рентгеновской пленки. Обработку растрового изображения осуществляли с использованием компьютерной программы Adobe Photoshop CS3 Extended. Указанное программное обеспечение даёт возможность определить по плотности почернения негативов рентгеновской пленки с изображениями образцов величины РЗ свойств последних, выраженных в мм свинцового эквивалента.

С использованием указанной методики были проведены сравнительные экспериментальные исследования РЗ свойств композиционных материалов на основе фосфогипсового вяжущего в виде β-полугидрата сульфата кальция (Г-5Б(II) по ДСТУ Б.В.2.7-82-99) с РЗ наполнителями в виде редкоземельных элементов (РЗЭ) по ТУ 8-4-244-87, сульфата

бария (ГОСТ Р 64/228/29 ФС 42-3074-94) и вольфрама (ТУ 48-19-352-91).

Результаты проведенных исследований. Из сопоставительного анализа растровых фотографий частиц сухой полидисперсной смеси РЗЭ «в состоянии поставки» (табл. 1а), после ее активации путем механического перемешивания для образования энергетических ансамблей из частиц РЗЭ в фосфогипсовой матрице после ее гидратации (табл. 1б), установлено, что в результате взаимодействия фосфогипсовой гидратирующей матрицы с агрегированными частицами РЗ наполнителя в виде РЗЭ имеет место существенное возрастание защитных свойств композитного материала, характеризующееся ростом величины свинцового эквивалента.

Таблица 1 – Влияние структуры композиционного материала на его РЗ свойства

		Негатив образца	δ_{Pb}, MM	Структура РЗ материала в отраженных электронах (x1 000)
а	РЗЭ в «состоянии поставки»		0,50 (± 0,05)	
б	РЗЭ в фосфогипсовой матрице		0,70 (± 0,05)	

В процессе гидратации фосфогипса с соответствующим водопотреблением образуются прочные контакты по границам растущих кристаллов, что обеспечивает образование сросшегося жёсткого кристаллического каркаса фосфогипсового камня.

После завершения гидратации и сушки экспериментальных образцов зафиксированные величины защитных свойств ($\delta_{Pb, \text{MM}}$) превышали расчетные значения, регламентируемые классическим законом Бугера. Вполне понятно, что в нашем случае главным фактором в достижении полученного эффекта (из-за

электропроводимости гипсового теста в процессе его гидратации) является не электростатика, а сам процесс гидратации гипсового и, в частности, фосфогипсового вяжущего. Как установлено, в процессе гидратации объем фосфогипсовой матрицы насыщается дополнительным количеством УДЧ РЗЭ, которые образуются благодаря разрушению агрегатов РЗЭ [6].

Этапы, предшествующие срастанию гидратирующихся кристаллов фосфогипса и их срастание схематично показаны на рис. 1.

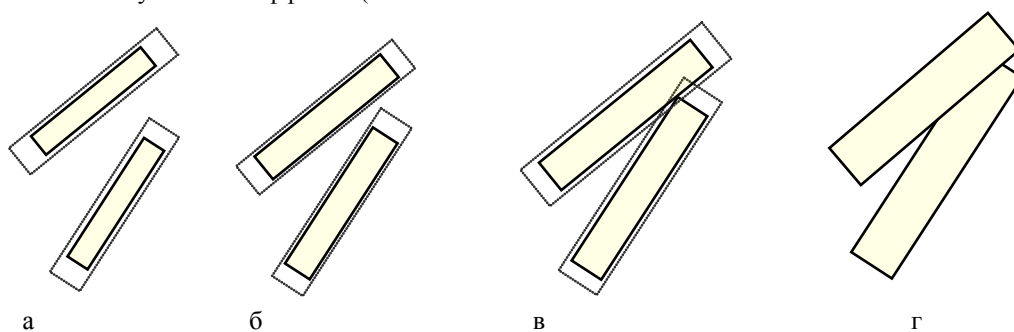


Рис. 1 – Схема процесса срастания гидратирующихся кристаллов фосфогипса: а – начало роста кристаллов; б – коагуляционные структуры; в – условно-коагуляционные структуры; г – срастания по границам кристаллов

Процесс гидратации фосфогипсового вяжущего схематично приведен на рис. 1, является характерным для каждого растущего кристалла фосфогипса. Процесс гидратации обеспечивает разрушение агрегированных частиц РЗЭ (рис. 1) по всему объёму матрицы, что приводит к резкому возрастанию количества распределенных в ней УДЧ.

Обсуждение результатов исследования влияния процесса гидратации кристаллов гипса на приобретаемые РЗ свойства сформированного композиционного материала. Наиболее эффективно разрушение агрегатов РЗ наполнителя в виде РЗЭ происходит во время образования коагуляционных структур, так как при этом расстояние между гидратирующимися кристаллами фосфогипса уменьшается до размеров, меньших, чем размеры агрегатов РЗ наполнителя. Однако даже в начале образования переплетений и сростков кристаллов, по мере развития процесса гидратации, имеет место движение кристаллических образований. Поэтому, вследствие увеличения длины растущих кристаллов, которая многократно превышает размер УДЧ РЗЭ, а также вследствие подвижки кристаллических образований, происходит защемление агрегированных частиц РЗЭ с последующим отделением от них ультрадисперсной фракции.

Процесс отделения УДЧ при разрушении агрегатов РЗЭ идет более эффективнее при гидратации фосфогипсового вяжущего α -модификации по сравнению с эффективностью отделения УДЧ при гидра-

тации того же вяжущего, но β -модификации. Это объясняется тем, что указанным модификациям присуща различная удельная поверхность кристаллов. Так, удельная поверхность кристаллов фосфогипса α -модификации составляет 90–120 м²/кг, в то время как удельная поверхность кристаллов фосфогипса β -модификации составляет 300–500 м²/кг. Данное различие обуславливается размером и формой прогидратировавшихся кристаллов. Более мелкие кристаллы фосфогипсового вяжущего β -модификации упакованы в матрице недостаточно плотно, располагаясь в ней хаотично и занимая больший объем, они не могут эффективно защемлять и разрушать агрегаты РЗ наполнителя. В отличие от этого, кристаллы фосфогипсового вяжущего α -модификации упакованы в более плотную структуру, благодаря вытянутости столбчатообразных кристаллов в общем направлении, что обуславливает эффективное защемление и разрушение агрегатов РЗ наполнителя.

Эффективность показанного схематично на рис. 2 отделения УДЧ от агрегатов РЗЭ будет тем выше, чем, во-первых, большее количество кристаллов фосфогипса принимает участие в процессе гидратации, а, во-вторых, чем больший прирост объема будут иметь кристаллы [6]. При этом замечено, что с повышением продолжительности процесса роста кристаллов повышается и плотность их упаковки в единице объема матрицы [7].

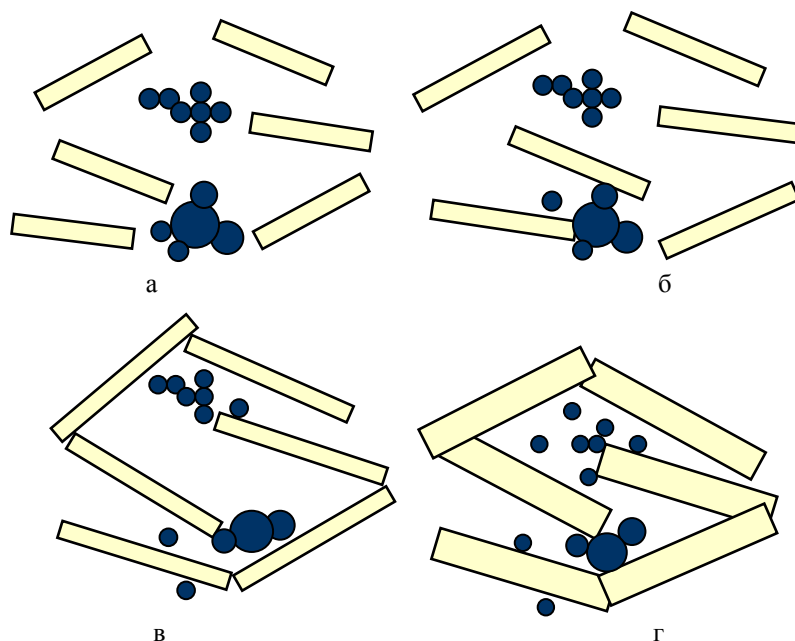


Рис. 2 – Разрушение агрегатов РЗЭ растущими кристаллами фосфогипса: а – начало роста кристаллов; б – коагуляционные структуры; в – условно-коагуляционные структуры; г – сращения по границам кристаллов

На рис. 3. схематично показано, что с увеличением количества УДЧ РЗ наполнителя в композитной матрице возрастает число актов взаимодействия с ними рентгеновского излучения. В результате рентгеновское излучение отклоняется от прямолинейного распространения, увеличивая при этом длину своего пробега внутри композитной матрицы. А это, очевидно, эквивалентно увеличению толщины защитного

слоя, что и является причиной аномального увеличения $\delta_{РЗ, мм}$ [8–10].

Таким образом, рассмотренная феноменологическая модель влияния гидратации фосфогипсовой матрицы с редкоземельным наполнителем на ее РЗ свойства адекватно отражает впервые вскрытый механизм проявления нового физического эффекта, связанного с отделением от агрегированных частиц РЗ наполнителя УДЧ РЗЭ.

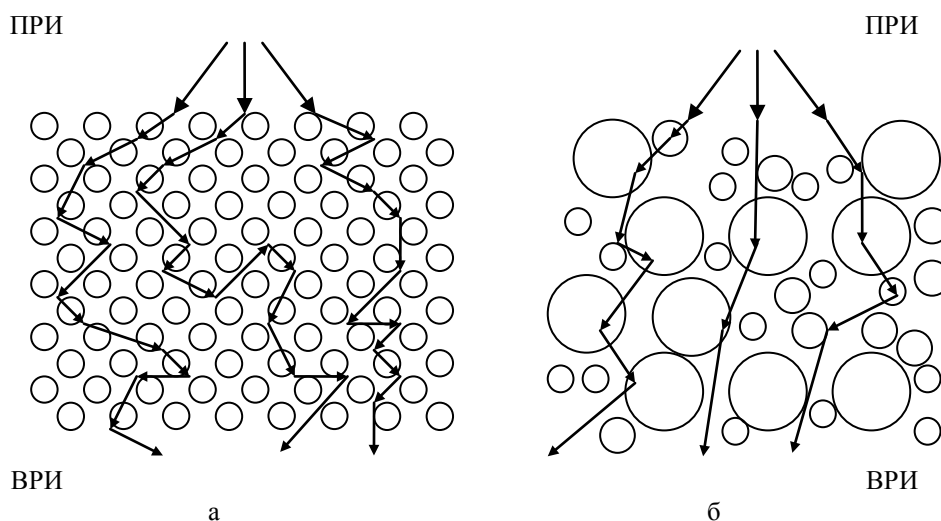


Рис. 3 – Схема взаимодействия первичного рентгеновского излучения (ПРИ) с частицами РЗ наполнителя (прошедшего через защитный слой) с ослаблением его интенсивности до уровня вторичного рентгеновского излучения (ВРИ): а – ультрадисперсный РЗ наполнитель с размером частиц 10^{-8} – 10^{-7} м; б – полидисперсный РЗ наполнитель с размером частиц 10^{-7} – 10^{-4} м

Выводы. Рассмотренный механизм проявления нового физического эффекта открывает реальную перспективу для создания высокоэффективных средств коллективной защиты от рентгеновского излучения с реализацией аномально высоких РЗ свойств на основе использования гидратирующихся фосфогипсовых и гипсовых матричных материалов.

Список литературы: 1. Булат, А. Ф. Исследование радиационно-защитных свойств резиновых матриц с «квантовыми ловушками» из полидисперсной смеси сложного окисла редкоземельных элементов [Текст]: міжвід. зб. наук. праць / А. Ф. Булат, В. А. Иванов, К. С. Голов // Геотехнічна механіка; Ін-т геотехнічної механіки ім. М. С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2007. – Вып. 69. – С. 25–34. 2. Иванов, В. А. Явление аномального изменения интенсивности потока квантов проникающего излучения моно- и многоэлементными средами: Диплом на открытие № 57 [Текст]: краткий справ. / В. А. Иванов, Г. К. Катрашук, С. Н. Конохов и др. // Научные открытия ученых СНГ; под ред. Ф. К. Клименко, С. Н. Зыбайло. – Днепропетровск: Новая идеология, 2008. – С. 112–113. 3. ДСТУ Б В.2.7.-82-99 В'язучі гіпсові. Технічні умови. – Взамен ГОСТ 125-79, ГОСТ 23789-79, ГОСТ 26871-86. – Введ. 03.02.1999. – К.: Держбуд України, 1999. – 30 с. 4. ГОСТ 125-79 Вяжущие гипсовые. Технические условия. – Взамен ГОСТ 125-70 и ГОСТ 5.1845-73. – Введ. 01.07.1980. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 12 с. 5. Инструкция по контролю защитных средств и материалов, используемых при рентгенодиагностике [Текст]. – М.: Минздравмедпром РФ, 1995. – 9 с. 6. Булат, А. Ф. Радиационно-защитные материалы нового технического уровня [Текст]: межвед. сб. науч. трудов / А. Ф. Булат, В. А. Иванов // Геотехнічна механіка; Інститут геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України. – Днепропетровск, 2006. – Вып. 64. – С. 3–14. 7. Запрудин, В. Ф. Радиационная безопасность зданий с учетом инновационных направлений в строительстве [Текст] / В. Ф. Запрудин, А. С. Беликов, А. В. Пилипенко и др.; под ред. д. т. н., проф. Беликова А. С. – Днепропетровск: Баланс-Клуб, 2009. – 349 с. 8. Перепелиця, В. Г. Апаратні та методичні розробки методів радіаційного випромінювання для контролю зміни стану масиву при вуглевидобутку [Текст]: міжвед. сб. науч. трудов / В. Г. Перепелиця, А. О. Яланський, Т. А. Паламарчук // Геотехнічна механіка; Інститут геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України.

– Днепропетровск, 2007. – Вып. 73. – С. 98–107. 9. Гусева, И. А. The International Commission on Radiological Protection [Публикация 103 Международной Комиссии по радиационной защите (МКРЗ)] [Текст]: пер. с англ. / И. А. Гусева; под общей ред. М. Ф. Киселёва и Н. К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с. 10. Арбузов, В. И. Основы радиационного оптического материаловедения [Текст]: учеб. пос. / В. И. Арбузов. – С.-Петербург: СПбГУИТМО, 2008. – 284 с.

Bibliography (transliterated): 1. Bulat, A. F., Ivanov, V. A., Holov, K. S. (2007). Yssledovanye radyatsyonno-zashchytnykh svoystv rezynovykh matryts s «kvantovymi lovushkamy» yz polydispersnoi smesy slozhnoho oksyla redkozemelnykh elementov. *Heotekhnichna mekhanika*, 69. In-t heotekhnichnoi mekhaniky im. M. S. Poliakova NAN Ukrainy. Dnipropetrovsk, 25–34. 2. Ivanov, V. A., Katrashhuk, G. K., Konjuhov, S. N. i dr.; In: Klimenko, F. K., Zybajlo, S. N. (2008). Javlenie anomal'nogo izmenenija intensivnosti potoka kvantov pronikajushhego izlucheniya mono- i mnogojelementnymi sredami: Diplom na otkrytie № 57. *Nauchnye otkrytija uchenyh SNG*. Dnepropetrovsk: Novaja ideologija, 112–113. 3. DSTU B V.2.7.-82-99 V'jazhuchi gipsovi. *Tekhnichni umovi*. (1999). Vzamen GOST 125-79, GOST 23789-79, GOST 26871-86. Vved. 03.02.1999. K.: Derzhbud Ukraini, 30. 4. GOST 125-79 Vjazhuvie gipsovyje. *Tekhnicheskie uslovija*. (1980). Vzamen GOST 125-70 i GOST 5.1845-73. Vved. 01.07.1980. M.: Izd-vo standartov, 12. 5. *Instrukcija po kontrolju zavimnyh sredstv i materialov, ispol'zuemyh pri rentgenodiagnostike*. (1995). M.: Minzdravmedprom RF, 9. 6. Bulat, A. F., Ivanov, V. A. (2006). Radiacionno-zashhitnye materialy novogo tehničeskogo urovnja. *Geotekhnicheskaja mehanika*, 64. Institut geotekhnicheskoi mekhaniky im. N. S. Poljakova NAN Ukrainy. Dnepropetrovsk, 3–14. 7. Zaprudin, V. F., Belikov, A. S., Pilipenko, A. V. i dr.; In: Belikova, A. S. (2009). *Radiacionnaja bezopasnost' zdaniy s uchetom innovacionnyh napravlenij v stroitel'stve*. Dnepropetrovsk: Balans-Klub, 349. 8. Perepelytsia, V. H., Yalanskyi, A. O., Palamarchuk, T. A. (2007). Aparaturni ta metodychni rozrobky metodiv radiatsiinoho vyprominjuvannia dla kontroliu zminy stanu masyvu pry vuhlevydobutku. *Heotekhnicheskaja mekhanika*, 73. Institut heotekhnicheskoi mekhaniky im. N. S. Poliakova NAN Ukrainy. Dnepropetrovsk, 98–107. 9. Huseva, Y. A. In: Kiseleva, M. F., Shandaly, N. K. (2009). *The International Commission on Radiological Protection [Publykatsiya 103 Mezhdunarodnoi Komysyisy po radyatsyonnoi zashchyte (MKRZ)]*. M.: Yzd. ООО ПКФ «Алана», 344. 10. Arbuзов, V. I. (2008). *Fundamentals of optical radiation-conducting material*. St. Petersburg: SPbGUITMO, 284.

Поступила (received) 16.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Булат Анатолий Федорович – Академик НАН України, Директор інститута геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України, ул. Симферопольська, 2а, г. Днепропетровск, Україна, 49005; тел.: (0562) 47-37-21.

Булат Анатолий Федорович – Академік НАН України, Директор Інституту геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України, вул. Симферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (0562) 47-37-21.

Bulat Anatoliy – Academic NAS of Ukraine, Director of Institute of Geotechnical Mechanics N. S. Polyakov NAS; str. Simferopol, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (0562) 47-37-21, e-mail: vaivan@ukr.net.

Иванов Валерий Анатольевич – Кандидат технических наук, Институт геотехнической механики им. Н. С. Полякова НАН Украины, доцент, Отдел проблем разработки месторождений на больших глубинах, ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, Украина, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: vaivan@ukr.net.

Иванов Валерій Анатолійович – Кандидат технічних наук, Інститут геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України, доцент, Відділ проблем розробки родовищ на великих глибинах; вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: vaivan@ukr.net.

Ivanov Valery – PhD, Institute of Geotechnical Mechanics N. S. Polyakov NAS, Associate Professor, Division problems mining at great depths, str. Simferopol, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (0562) 47-37-21.

Голов Константин Сергеевич – Кандидат технических наук, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Отдел проблем разработки месторождений на больших глубинах, ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, Украина, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: klipsch@ukr.net.

Голов Костянтин Сергійович – Кандидат технічних наук, Інституту геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України, Відділ проблем розробки родовищ на великих глибинах, вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: klipsch@ukr.net.

Golov Konstantine – Candidate of Technical Sciences, Institute of Geotechnical Mechanics. N.S. Polyakov NAS, Division problems mining at great depths, str. Simferopol, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (0562) 47-37-21.

Ткаченко Владимир Андреевич – доктор технических наук, профессор, Днепропетровский университет им. Альфреда Нобеля, ул. Набережная Ленина, 18, Днепропетровск, Украина, 49005; тел.: (056) 370-36-21.

Ткаченко Володимир Андрійович – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський університет ім. Альфреда Нобеля, вул. Набережна Леніна, 17, Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (056) 370-36-21.

Vladimir Tkachenko – doctor of technical sciences, professor, Alfred Nobel University Dnepropetrovsk, Naberezhna Lenina str., 18 Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (056) 370-36-21; e-mail: abit@duer.edu.

Степаненков Евгений Иванович – Ведущий инженер, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины, Отдел проблем разработки месторождений на больших глубинах, ул. Симферопольская, 2а, г. Днепропетровск, Украина, 49005, тел.: (0562) 47-37-21, e-mail: vaivan@ukr.net.

Степаненков Євгеній Іванович – Провідний інженер, Інституту геотехнічної механіки ім. Н. С. Полякова НАН України, Відділ проблем розробки родовищ на великих глибинах, вул. Сімферопольська, 2а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49005; тел.: (0562) 47-37-21; e-mail: vaivan@ukr.net.

Stepanenkov Evgeniy – Senior engineer, Institute of Geotechnical Mechanics. N. S. Polyakov NAS, Division problems mining at great depths str. Simferopol, 2a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49005; tel.: (0562) 47-37-21.

УДК 669.15:669.162.1

А. Н. ПАНЧЕНКО, Н. В. СУСЛО, А. С. ИВАНОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА И ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Изложены результаты исследования возможности замены дорогостоящих высоколегированных хромоникелевых сталей для деталей, работающих в сложных термоциклических условиях и действии абразивного износа экономнолегированными безникелевыми сталями. Предложено легирование этих сталей марганцем и азотом взамен никеля для получения однофазной аустенитной структуры. При определении необходимого количества азота, учтена его растворимость в экономнолегированной стали, которая составляет 0,37 %, что позволяет получить в предлагаемой стали аустенитную структуру.

Ключевые слова: экономнолегированная сталь, азот, легирование, термоциклические нагрузки, абразивный износ, окатыши, аустенитная структура.

Введение. Как показывает практика, для изготовления деталей, работающих в условиях высоких циклически изменяющихся температур с одновременным абразивным износом, используют высоколегированные хромоникелевые стали. В металлургическом производстве к таким процессам относятся, в первую очередь, обжиг окатышей и спекание агломерата на машинах конвейерного типа. Особенностью таких машин является применение для изготовления колосников, бортов тележек и других конструктивных узлов дорогостоящих сталей, содержащих от 2 до 12 % никеля и 22-28 % хрома. При этом стойкость деталей из этих сталей составляет 6 – 8 месяцев, что приводит к снижению технико-экономических показателей работы конвейерных машин. Поэтому, поиск альтернативных экономнолегированных сталей для работы в

сложных высокотемпературных условиях является актуальным.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Для повышения эксплуатационных свойств сталей, работающих в условиях термоциклических нагрузок и абразивного износа, рядом ученых [1-4] предложено их легирование азотом.

Для обеспечения коррозионной стойкости сталей азот вводится взамен никеля в соотношении 1:27 [4]. Одной из основных задач при производстве азотсодержащих коррозионностойких сталей является стабильное азотирование расплава. Процесс стабилизации азотирования расплава рассматривается на основе

механизма поглощения сталью азота из азот-кислородной газовой фазы [4]. Сущность этого механизма заключается в существовании в приграничной области газ-металл активных форм азота, в том числе, в виде CN , NO_x , и других.

Исследовался [5] процесс раскисления и модифицирования коррозионноустойчивых сплавов на основе хрома и никеля алюминием и титаном. Авторы обосновали, необходимость содержания хрома до 40%, алюминия до 0,65% и титана до 0,37 %. Увеличение концентраций алюминия и титана сопровождается повышением пластических характеристик и коррозионной устойчивости сплавов.

Установлена [6, 7] возможность создания экономнолегированных жаростойких сталей и сплавов, разработаны новые марки сталей 10X14Г14Н4Т, 10X14АГ15 и др., а также проведены исследования химического и фазового состава окалина и подокисных слоев. У сталей с марганцем содержание хрома на поверхности металла и в окалине меняется незначительно. Содержание же марганца в окалине снижается. Преимущество хромомарганцовистых сталей с азотом, связано не только с повышением защитных свойств окалины, но и участием азота в образовании окалины, что препятствует выгоранию хрома.

Исследованиями О. Кубашевского и Б. Гопкинса [8], а также нашими исследованиями условий эксплуатации рабочих органов конвейерных машин [9-11], установлено существенное влияние состава и структуры образующейся окалины. Отмечается [12] положительное влияние на жаростойкость сталей алюминия и кремния. По данным [13], алюминий и кремний повышают устойчивость стали против воздействия агрессивных сред (в том числе и серы) при высоких температурах.

На основе анализа работ [6, 14, 15], можно сформулировать основные принципы легирования жаростойких сталей для деталей работающих в условиях термоциклических температур и абразивного износа:

- принципиально возможна замена дорогостоящего никеля аустенитообразующими марганцем и азотом [7];

- с целью получения аустенитной структуры, содержание хрома не должно превышать 15 %, а содержание углерода – не менее 0,2 % [14];

- для дальнейшего повышения жаростойкости стали целесообразно ее легировать алюминием, кремнием, и титаном (последний вводится в жаростойкие стали с целью измельчения зерна и связывания углерода в тугоплавкий карбид TiC) [15].

Цель и задачи исследования. Целью работы является исследование возможности замены дорогостоящих высоколегированных хромоникелевых сталей экономнолегированными, содержащими азот.

Задачей исследования является обоснование применения безникелевых сталей с азотом в условиях высоких термоциклических нагрузок и абразивного износа.

Основной материал и результаты исследования применения азота в экономнолегированных сталях. На металлургических предприятиях г. Кривого Рога (ПАО «СевГОК», ПАО «ЦГОК», ПАО «АрселорМиттал Стіл») в условиях обжига окатышей и спекания агломерата на конвейерных машинах при-

меняют сменные детали, изготовленные из высоколегированных марок стали 40X24H12СЛ и 75X28H2СЛ. Как альтернатива вышеупомянутым маркам, нами разработана азотсодержащая сталь 30X14Г8АЮ2ТЛ [16] со следующим химическим составом, %: Cr – 14-16; Mn – 6-8; Al – 1,5-2,5; C – 0,2-0,4; Si – 0,5 – 1,5; Ti – 0,03 – 0,1; N – 0,15 -0,2.

Фазовый состав сталей 40X24H12СЛ, 75X28H2СЛ и 30X14Г8АЮ2ТЛ рассчитывался по формулам П. Н. Бидули [17], в которых учитывается как содержание азота (при расчете эквивалентного содержания никеля), так и алюминия (при расчете эквивалентного содержания хрома):

$$Ni_{\text{экв}} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn + 12\%N \quad (1)$$

$$Cr_{\text{экв}} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb + 0,8\%W + 1,5\%V + 4\%Ti + 3,5\%Al \quad (2)$$

Для стали по патенту [16] рассчитанные по формулам (1) и (2) эквивалентные содержания $Ni_{\text{экв}} = 16,9$ и $Cr_{\text{экв}} = 21,7$, согласно диаграмме Шеффлера [15], соответствуют аустенитной структуре в то время, как применяемые стали 40X24H12СЛ и 75X28H2СЛ имеют двухфазную аустенито-ферритную структуру.

Получение стабильной аустенитной структуры в стали 30X14Г8АЮ2ТЛ достигается введением в ее состав взамен никеля аустенитообразующих элементов азота и марганца, причем, следует учитывать, что растворимость азота в стали носит ограниченный характер.

Для расчета растворимости азота в стали 30X14Г8АЮ2ТЛ использовали параметры взаимодействия Вагнера [18]:

$$lg[N]_{\text{ст}} = lg0,45 - e_N^{Cr}[Cr] - e_N^{Mn}[Mn] - e_N^{Si}[Si] - e_N^{Al}[Al] - e_N^{Ti}[Ti]$$

$$lg[N]_{30X14Г8Ю2Л} = -1,3468 + 0,047 \cdot 14 + 0,02 \cdot 8 - 0,048 \cdot 1,2 + 0,028 \cdot 2 + 0,52 \cdot 0,2 = -0,426 \quad (3)$$

$$lg[N]_{30X14Г8Ю2Л} = -0,4264;$$

что соответствует максимальной растворимости азота:

$$a[N]_{30X14Г8Ю2Л} = 0,37 \%$$

В соответствии с патентом [16] содержание в стали азота равно 0,15 – 0,2 % не превышает максимально возможного – 0,37 %.

Выводы

1. Показана возможность применения азота (с учетом его растворимости) при синтезе безникелевых сталей, работающих в условиях высоких термоциклических нагрузок и абразивного износа.

2. Установлено, что получение стабильной аустенитной структуры сталей, работающих при высоких термоциклических нагрузках в условиях абразивного износа достигается за счет легирования марганцем и азотом.

3. Получение однофазной аустенитной структуры в стали 30X14Г8АЮ2ТЛ способствует повышению ее эксплуатационных характеристик, по сравнению с двухфазными аустенито-ферритными сталями 40X24H12СЛ и 75X28H2СЛ, что подтверждает возможность использова-

ния экономнолегированных азотсодержащих сталей вместо дорогостоящих хромоникелевых.

Авторы признательны академику АН СССР Гасику М. И. за научную поддержку при проведении работ по разработке экономнолегированных марок сталей.

Список литературы: 1. *Костина, М. В.* Развитие принципов легирования Cr-N сталей и создание коррозионностойких сталей нового поколения со структурой азотистого мартенсита и аустенита для высоконагруженных изделий современной техники. [Текст]: диссертация доктора техн. наук / М. В. Костина; Москва: ИМЕТ РАН. – 2003. – 229 с. 2. *Шитов, Е. В.* Экономнолегированные азотсодержащие марки стали [Текст] / Е. В. Шитов, Э. Ю. Колпишон // Фундаментальные исследования в технических университетах Материалы X Всероссийской конференции по проблемам и высшей школы 18-19 мая 2006 года, Санкт-Петербург – СПб Изд-во Политехнического Университета. – 2006. – С. 359-360. 3. *Капуткина, Л. М.* Исследование структуры деформированных высокомедистых нержавеющей сталей с азотом [Текст] / Л. М. Капуткина, А. Г. Свяжгин, В. Г. Прокошклина, Д. В. Кремянский, М. Г. Медведев // Сб. тезисов межд. конф. «Прогрессивные технологии пластической деформации». – Москва: МИСИС. – 2009. – С. 314. 4. *Кац, Л. Н.* Основные проблемы производства и применения азотсодержащих коррозионностойких сталей [Текст] / Л. Н. Кац, В. А. Григорян // Материалы второй республиканской конференции «Пути рационального использования легирующих элементов и улучшение качества металла при электроплавке стали. – Днепропетровск: Городская типография. – 1983. – № 3 / – С. 57–58. 5. Раскисление и модифицирование коррозионностойких сплавов на основе никеля [Текст] / А. А. Телякова, С. А. Иодковский, В. Б. Николаев [и др.] // Материалы второй республиканской конференции «Пути рационального использования легирующих элементов и улучшение качества металла при электроплавке стали. – Днепропетровск: Городская типография. – 1983. – № 3. – С. 51–52. 6. *Козлова, Н. Н.* Пути создания экономнолегированных жаростойких сталей и сплавов [Текст] / Н. Н. Козлова, Е. В. Доронина, Ю. И. Матросов // Проблемы современной металлургии. Сборник научных трудов ЦНИИЧермет. – М.: Металлургия, 1982. – С. 169-173. 7. Сталь с пониженным содержанием никеля [Текст]: Справочник. Государственный научно-экономический совет Совета Министров СССР, ГЛАВНИИПРОЕКТ, ЦНИИ черной металлургии им. Бардина, Институт качественных сталей. – М.: Металлургиздат, 1961. – 200 с. 8. *Кубашевский, О.* Окисление металлов и сплавов. Пер. с англ. Издание второе [Текст] / О. Кубашевский, Б. Гопкинс. – М.: Металлургия, 1965. – 428 с. 9. Влияние технологического режима работы обжиговой машины на стойкость колосников [Текст] / А. Д. Учитель, А. Н. Панченко, А. С. Иванов, Н. Г. Грибенко // Нові технології. Науковий вісник КУ-ЕГТУ. – 2008. № 4 (22). – С. 199–202. 10. *Панченко, А. Н.* Влияние состава шихтовых материалов для производства окатышей на стойкость литых колосников обжиговых машин [Текст] / А. Н. Панченко // Университетская наука – 2009 (г. Мариуполь. 19–20 мая 2009 г.): сборник докладов – Мариуполь: Приазовский государственный технический университет. – 2009. – С. 145. 11. *Панченко, А. Н.* Влияние окислов щелочных металлов на стойкость колосников обжиговых машин [Текст] / А. Н. Панченко // Стратегия качества в промышленности и образовании (г. Варна, 6–13 июня 2009 г.): сб. трудов V Международной конференции. – Болгария. – 2009. – Т. 1. – С. 723–728. 12. *Ланская, К. А.* Высокохромистые жаропрочные стали: Учебник для ВУЗов [Текст] / К. А. Ланская. – М.: Металлургия, 1976. – 216 с. 13. *Гудремон, Э.* Специальные стали [Текст] / Э. Гудремон. – М.: Металлургия, 1966. – 736 с. 14. *Приданцев, М. В.* Высокопрочные аустенитные стали [Текст] / М. В. Приданцев, Н. П. Талов, Ф. Л. Левин. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с. 15. *Коломбье, Л.* Нержавеющие и жаропрочные стали [Текст] / Л. Коломбье, И. Гохман; пер. с французского А. М. Ладогин. – М.: Государственное

научно-техническое издательство литературы по черной и цветной металлургии, 1958. – 479 с. 16. Патент 68548 Україна, МПК⁷ C22C38/00. Жаростійка сталь [Текст] / Панченко Г. М., Учитель О. Д., Гасик М. І. – № u2011 11945; заявл. 11.10.11; опубл. 26.03.12, Бул. № 6. 17. *Бидуля, П. Н.* К вопросу о выплавке стали с заданным фазовым составом [Текст] / П. Н. Бидуля, С. А. Иодковский, Н. Н. Сащихин // Литейное производство. – 1961, №6. – С. 1–4. 18. Физико-химические расчеты электросталеплавильных процессов: Сборник задач с решениями [Текст] / В. А. Григорян, А. Я. Стомохин, Ю. И. Уточкин [и др.] – 2е изд., пер. и доп. – М.: МИСИС, 2007. – 318 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Kostina, M.* (2003). The development of the principles of the doping Cr-N steels and stainless steels creation of a new generation with the structure of nitrogen martensite and austenite for heavy products of modern technology. dissertatsiya doktora tehn. nauk. Moscow IMET RAS, 229. 2. *Shitov, E., Koltshon, E.* (2006). Sparingly alloyed nitrogen steels. Fundamental research in technical universities Proceedings of X All-Russia conference on problems and high school on May 18-19, 2006, St. Petersburg Publishing House of the Polytechnic University, 359-360. 3. *Kaputkina, L., Svyazhin, A., Prokoshkina, V., Kremiansky, D., Medvedev, M.* (2009). Investigation of the structure of deformed high cupriferous stainless steels with nitrogen. Moscow: MISA, 314. 4. *Katz, L., Grigoryan, V.* (1983). Main problems of production and application of nitrogen-containing corrosion-resistant steel. Proceedings of the Second National Conference "Ways of rational use of alloying elements and improve the quality of metal in the steel electrofusion. Dnepropetrovsk: Urban typography, 3, 57-58. 5. *Teplyakova, A., Iodkovsky, S., Nikolaev, V. [et al.]* (1983). Deoxidation and modification of corrosion-resistant nickel-based alloys. Proceedings of the Second National Conference "Ways of rational use of alloying elements and improved quality metal at electrofusion steel. Dnepropetrovsk: Urban typography, № 3, 51–52. 6. *Kozlov, N., Doronin, E., Sailors, Y.* (1982). Towards an sparingly alloyed heat-resistant steels and alloys. Problems of modern metallurgy. Collection of scientific works CRI of Ferrous Metallurgy. Moscow: Metallurgy, 169–173. 7. State Scientific and Economic Council of the Council of Ministers of the USSR, CRP, Central Research Institute of Ferrous Metallurgy. Bardin Institute of high-quality steels. (1961). Handbook. Steel with lower nickel content. Moscow: Metallurgy, 200. 8. *Kubaschewski, O., Hopkin, B.* (1965). The oxidation of metals and alloys. Trans. from English. Second Edition. Moscow: Metallurgy, 428. 9. *Uchitel, A., Panchenko, A., Ivanov, A., Gribenko, N.* (2008). The impact of technological mode of roasting machines for resistance grate. New technologies. Scientific Herald of KUEITM, № 4 (22), 199–202. 10. *Panchenko, A.* (2009). Influence of the composition of the raw materials for the production of pellets in the resistance cast grates roasting machines. University science. (Mariupol. May 19-20, 2009): collection of reports – Mariupol: Azov State Technical University, 145. 11. *Panchenko, A.* (2009). Influence of alkali metal oxides infusion-bone grates roasting machines. Quality Strategy in Industry and Education (Varna, 6-13 June 2009): Collection of papers of V International Conference. Bulgaria, T. 1, 723–728. 12. *Lanskaya, K.* (1976). High-chromium heat-resistant steel: Textbook for High Schools. Moscow: Metallurgy, 216. 13. *Gudremont, E.* (1966). Special Steel. Moscow: Metallurgy, 736. 14. *Pridantsev, M., Talov, P., Levin, F.* (1969). High austenitic steels. Moscow: Metallurgy, 248. 15. *Colombier, L., Hochman, I., per. French, A. Ladogina.* (1958). Stainless and heat resistant steel. Moscow: State Science and Technology Publishing House of ferrous and nonferrous metallurgy, 479. 16. Ukraine Patent 68548, MPK7 S22S38 / 00. Heat-resistant steel / A. Panchenko, A. Uchitel, M. Gasik – № u2011 11, 945; appl. 11.10.11; publ. 26.03.12, Bul. 6. 17. *Bidulya, P., Iodkovsky, S., Saschihin, N.* (1961). On the issue of steel production with a given phase composition. Foundry, №6, 1–4. 18. *Grigoryan, V., Stomohin, A., Utochkin, U. [et al.]* (2007). Physico-chemical calculations of the EAF process: Collection of problems with the decisions of the. 2nd ed., Trans. and add. Moscow: MISA, 318.

Поступила (received) 24.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Панченко Ганна Миколаївна – кандидат технічних наук, Криворізький металургійний інститут державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет», доцент кафедри "Металургійних технологій"; адрес: 50005, Україна, м. Кривий Ріг, вул. Револуційна, 5; тел.: 067-638-62-26;

Панченко Анна Николаевна – кандидат технических наук, Криворожский металлургический институт государственного высшего учебного заведения «Криворожский национальный университет», доцент кафедры "Металлургических технологий"; адрес: 50005, Украина, м. Кривой Рог, ул. Революционная, 5;

Panchenko Anna – candidate technical sciences, Krivoy Rog Iron and Steel Institute, the state higher academic institution "Kryvyi Rih National University," Associate Professor of "metallurgical technologies"; Address: 50005,

Ukraine, Krivoy Rog, Revolutionary Str., 5; e-mail: anechek@inbox.ru.

Сусло Наталія Валеріївна - кандидат технічних наук, Криворізький металургійний інститут державного вищого навчального закладу «Криворізький національний університет», доцент кафедри "Металургійних технологій"; адрес: 50005, Україна, м. Кривий Ріг, вул. Революційна, 5; e-mail: suslo_n-v@mail.ru.

Сусло Наталия Валериевна - кандидат технических наук, Криворожский металлургический институт государственного высшего учебного заведения «Криворожский национальный университет», доцент кафедры "Металлургических технологий"; адрес: 50005, Украина, м. Кривой Рог, ул. Революционная, 5;

Suslo Nataliya - candidate technical sciences, Krivoy Rog Iron and Steel Institute, the state higher academic institution "Kryvyi Rih National University," Associate Professor of "metallurgical technologies"; Address: 50005, Ukraine, Krivoy Rog, Revolutionary Str., 5; tel.: 067-595-90-45; e-mail: suslo_n-v@mail.ru.

Іванов Андрій Сергійович - заступник головного інженера фабрики орудкування публічного акціонерного товариства «Центральний гірничозбагачувальний комбінат», адреса: 50066, Україна, м. Кривий Ріг, ПАТ «ЦГЗК»; тел. 097-329-31-77, e-mail: scroffer83@gmail.com

Иванов Андрей Сергеевич - заместитель главного инженера фабрики окомкования публичного акционерного общества «Центральный горнообогатительный комбинат», адрес: 50066, Украина, м. Кривой Рог, ПАО «ЦГОК»; тел. 097-329-31-77, e-mail: scroffer83@gmail.com.

Ivanov Andrey - Deputy Chief Engineer Factory pelletizing public joint-stock company "Central ore processing plant" Address: 50066, Ukraine, Krivoy Rog, Public Joint-Stock Company «CGOK»

УДК 621.74: 669.14

А. В. КАЛИНИН

ОСОБЕННОСТИ НАНОМОДИФИЦИРОВАНИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ

Разработана технология модифицирования алюминиевых и никелевых сплавов нанодисперсными композициями. Построены сравнительные гистограммы механических свойств деформированных алюминиевых сплавов до и после модифицирования. Обоснованный выбор типа наномодификатора и способ его таблетирования. Для алюминиевых сплавов рекомендован нанодисперсный карбид кремния β -SiC, для никелевых сплавов - нанодисперсный карбонитрид титана TiCN фракцией 50...100 нм. В модифицированных сплавах получено значительное измельчение дендритной и зеренной структуры. В результате модифицирования достигнуто повышение механических свойств.

Ключевые слова: наномодификаторы, химический состав, механические свойства, неметаллические включения, многокомпонентные сплавы, карбонитрид титана, карбид кремния.

Введение. Разработка изделий ответственного назначения для металлургии и машиностроения ставит задачи повышения механических свойств, жаропрочности, жаростойкости, коррозионной стойкости и эксплуатационных свойств конструкционных материалов.

Деформируемые алюминиевые сплавы применяются для изготовления деталей сложной конфигурации, имеющих высокие показатели механических свойств в термически обработанном состоянии, высокую коррозионную стойкость и малый удельный вес, что обуславливает их перспективность для современного машиностроения.

Однако недостаточная технологичность при литье и механической обработке сдерживает широкое применение алюминиевых сплавов как конструкционных материалов. Низкая технологичность объясняется повышенным газосодержанием и наличием хрупких и труднорастворимых фаз: $FeAl_3$, Mg_2Si , $MgZn_2$, выделяющихся в виде крупных скоплений и часто образующих сплошную сетку в структуре, которые служат причиной трещинообразования при литье слитков и фасонных отливок [1].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Возрастающие требования к надежности и ресурсу работы деталей авиа- и турбостроения определяют разработку качественно новых материалов и технологий. Наиболее широко применяются жаропрочные и жаростойкие многокомпонентные никелевые сплавы с высоким уровнем структурной термостабильности [2]. Однако непрерывно усложняющиеся условия работы агрегатов требуют повышения

механических и эксплуатационных характеристик. Одним из способов измельчения структурных составляющих сплавов на макро- и микроуровне является модифицирование многокомпонентных сплавов нанодисперсными композициями [3].

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка технологии модифицирования алюминиевых и никелевых сплавов нанодисперсными композициями для повышения качества и свойств отливок и деформируемых заготовок. В данной работе применено наномодифицирование алюминиевых сплавов АМг6, 01570 и жаростойкого никелевого сплава ЖСЗДК.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи: обосновать выбор типа наномодификатора для алюминиевых и никелевых сплавов; провести экспериментальные плавки алюминиевых сплавов АМг6, 01570 и никелевого сплава ЖСЗДК с обработкой наномодификаторами; изучить механические свойства сплавов до и после модифицирования наноконпозициями.

Результаты исследования процесса наномодифицирования многокомпонентных сплавов и анализ полученных результатов. В работах [4, 5] показана возможность применения дисперсных и нанодисперсных тугоплавких модификаторов в литейных алюминиевых и никелевых сплавах. В данной работе применяли модифицирование алюминиевых сплавов нанодисперсными композициями на основе

карбида кремния SiC и никелевых сплавов – нанодисперсным карбонитридом титана Ti(CN) с размером

частиц 50...100 нм. Химический состав исследуемых сплавов приведен в табл. 1, 2.

Таблица 1 – Химический состав алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов, % мас.									
	Al	Mg	Mn	Cu	Si	Zn	Be	Zr	Sc	Fe
АМг6	основа	5,80-6,80	0,50-0,80	0,10	0,4	0,2	0,0002-0,0050	–	–	0,4
01570	основа	5,80-6,80	0,15-0,35	0,05-0,15	0,4	0,2	< 0,001	0,05-0,15	0,20-0,45	0,4

Таблица 2 – Химический состав жаропрочного никелевого сплава ЖСЗДК

Марка сплава	Содержание элементов, % мас.									
	Al	Ti	Cr	Mo	W	Co	Fe	Mn	Si	Ni
ЖСЗДК	4,0-4,8	2,5-3,2	11,0-12,5	3,8-4,5	3,8-4,5	8,0-10,0	≤2,0	≤0,4	≤0,4	Основа

Важным фактором, который характеризует способность модифицирующего элемента влиять на зарождение и рост кристаллов, является критерий растворимости в металлической матрице. Активный модификатор должен располагаться по границам зерен сплава, а не входить в их состав. При этом модификатор не должен образовывать собственные кластеры, а располагаться между кластерами расплава.

Исходя из перечисленных критериев, наилучшими модификаторами для алюминиевых и никелевых сплавов, имеющих гранецентрированную кубическую решетку (г.ц.к.), являются тугоплавкие композиции на основе β -SiC и Ti(CN) также с г.ц.к. решеткой. При этом расхождение атомных радиусов металлической матрицы и модификатора минимально.

Нанодисперсные модификаторы получали методом плазмохимического синтеза с варьированием температурно-временного режима и состава газоплазменного потока. Определяли удельную поверхность полученных тугоплавких соединений. Особенности размерно-кристаллографических параметров изучали методами электронной микроскопии и дифракционного анализа. Для предотвращения окисления разработана методика плакирования нанопорошков с целью их длительного хранения [4].

Эффект получения нанодисперсных соединений на основе титана и кремния методом плазмохимического синтеза обусловлен высокими скоростями объемной конденсации газоплазменного потока. Это приводит к нестабильному состоянию частиц: уменьшению параметров кристаллической решетки по сравнению с массивными соединениями, изменения параметров от центра к поверхности частиц, вследствие максимального сжатия поверхностного слоя.

Дисперсность наночастиц определяет свойства системы: модификатор-расплав и количественно характеризуется линейными размерами и удельной поверхностью частиц. Удельная поверхность наночастиц $S_{уд}$ выражается уравнением

$$S_{уд} = S_{1-2} / \gamma V,$$

где S_{1-2} – поверхность между фазами 1 и 2 (межфазная поверхность модификатор-среда); γ – плотность нанодисперсного соединения; V – объем нанодисперсной фазы.

По величине удельной поверхности нанодисперсные системы занимают особое положение среди

дисперсных систем. Если удельная поверхность в молекулярных системах, например, в истинных растворах, отсутствует, так как молекулы не обладают поверхностью в обычном представлении, то удельная поверхность грубодисперсных систем очень мала. Лишь гетерогенные нанодисперсные системы с размером частиц 10...100 нм имеют сильно развитую удельную поверхность. Благодаря большой удельной поверхности нанодисперсных систем, для них огромное значение имеют адсорбция и поверхностные явления, в то время как поведение грубодисперсных и молекулярных систем определяется в основном объемными свойствами. Роль нанодисперсных добавок сводится к созданию в расплаве дополнительных искусственных центров кристаллизации. Для этого они должны быть соразмерны с критическими зародышами и обеспечивать достаточное их количество для получения в отливке мелкодисперсной структуры.

Анализ микродифракционных картин кристаллов β -SiC позволил установить, что по своей кристаллической структуре они относятся к кубической сингонии с размером при $a = 4,36$ Å. Сопоставление изображений частиц β -SiC с их микродифракционными картинками показало, что основной габитусной плоскостью является базисная плоскость (0001), а огранка осуществляется плоскостями семейства {1010}. При контакте с атмосферой на поверхности частиц формируются окислы, подобные цветам побежалости на поверхности массивных твердых тел. На начальной стадии окисел не является стехиометрическим и не обладает характерной для него кристаллической решеткой, образуя «псевдоаморфную» оболочку. В табл. 3 приведены кристаллометрические параметры исследованных нанодисперсных модификаторов.

Разработан технологический процесс наномодифицирования алюминиевых сплавов АМг6, 01570 и никелевого сплава ЖСЗДК. Для удобства введения модификаторов в расплав в работе использован способ таблетирования порошков SiC и Ti(CN). Для алюминиевых сплавов на пресс-автомате ударного действия изготовили прессованные таблетки из смеси порошков SiC фракцией 50...100 нм и порошков алюминия фракцией до 100 мкм [5]. Для модифицирования никелевого сплава таблетки получали из порошков Ti(CN) фракции 50...100 нм.

Таблица 3 – Характеристики кристаллических решеток нанодисперсных модификаторов

Формула соединения	Элементарная ячейка	Период решетки, нм		
		a	c	
SiC	α	гексагональная и ромбоэдрическая	0,308	1,004
	β	Кубическая	0,436	–
TiC	Кубическая	0,432	–	
TiN	Кубическая	0,422	–	
Ti(CN)	Кубическая	0,426	–	

Плавку алюминиевых сплавов проводили в промышленной электропечи САТ-0,16. Содержание газов в сплавах определяли с помощью технологических проб. Результаты оценки проб показали, что модифицирование алюминиевых сплавов АМг6 и 01570 обеспечивает снижение газосодержания с 3 до 1 балла пористости по ДСТУ 2839-94.

Микроструктура сплава АМг6 в исходном состоянии представлена дендритами алюминиевого α -твердого раствора, наблюдаются грубые зоны срастания дендритных ветвей с участками эвтектик (рис. 1 а, б). В модифицированных образцах дендритная ликвация менее выражена. Наблюдаются включения дисперсных фаз, как по границам, так и внутри зерен.

Микроструктура немодифицированного никелевого сплава ЖСЗДК крайне неоднородна по сечению

образца, имеет ярко выраженное грубое строение (рис. 2 а). В результате модифицирования получена сравнительно однородная структура, достигнуто измельчение зерна в 5...8 раз (рис. 2 б).

На рис. 3 приведены результаты механических испытаний алюминиевых сплавов до и после модифицирования нанодисперсными композициями. Достигнуто значительное повышение прочностных и пластических характеристик: σ_B – на 7,3 %; σ_T – на 4,9 %; δ – на 12,4 %.

На рис. 4 приведены показатели механических свойств никелевого сплава ЖСЗДК до и после модифицирования. Достигнуто значительное повышение прочностных и пластических свойств: σ_B – на 9,3 %; σ_T – на 12,9%; δ – на 19,4 %.

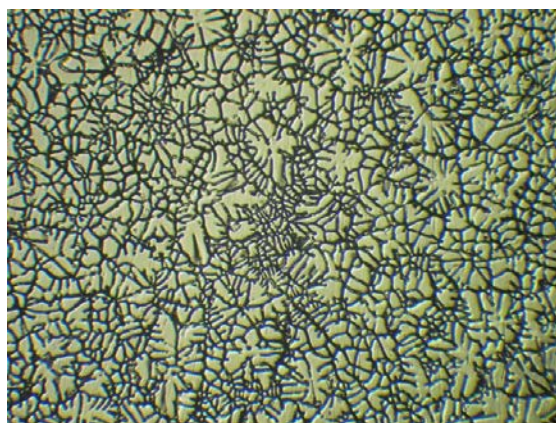
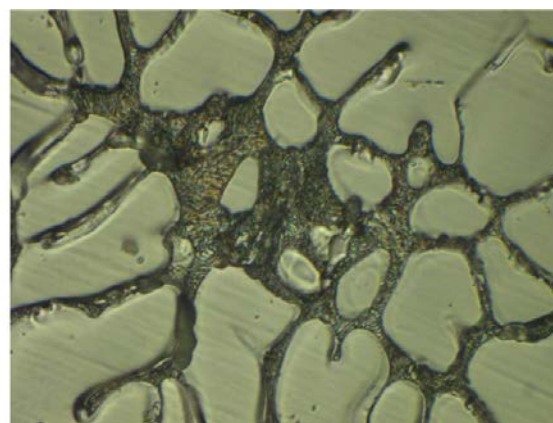
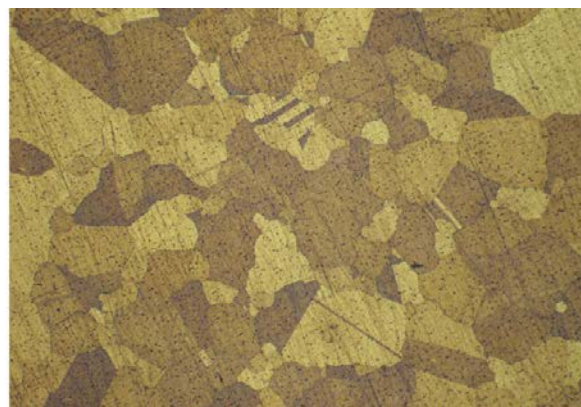
а, $\times 100$ б, $\times 1000$

Рис. 1 – Микроструктура сплава АМг6



а



б

Рис. 2 – Микроструктура никелевого сплава ЖСЗДК, $\times 50$: а – в исходном состоянии, б – после наномодифицирования

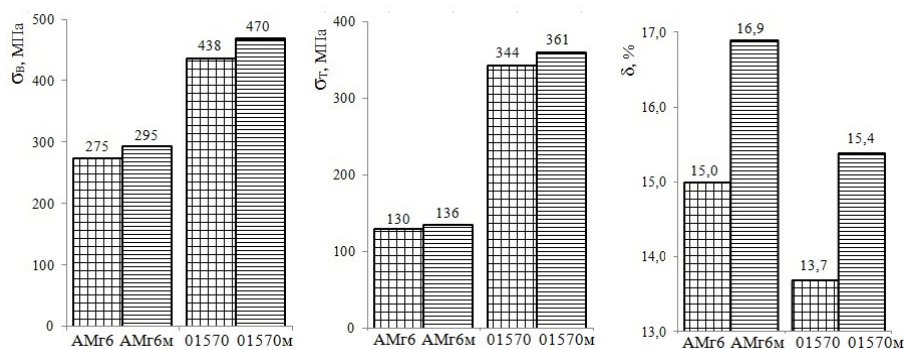


Рис. 3 – Механические свойства деформируемых алюминиевых сплавов до и после модифицирования (м – модифицированный сплав)

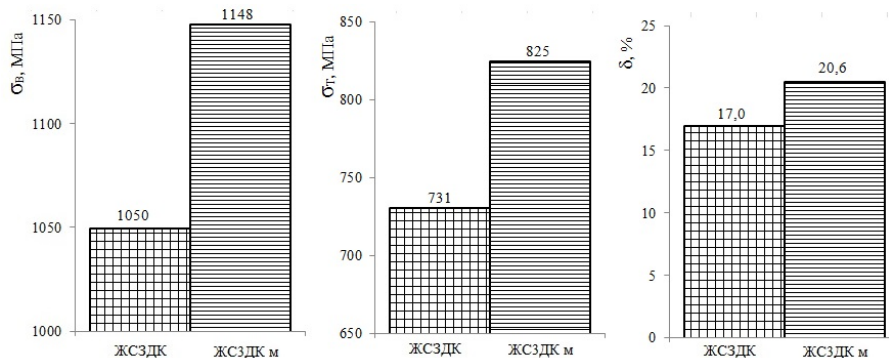


Рис. 4 – Механические свойства жаропрочного никелевого сплава ЖСЗДК до и после модифицирования (м – модифицированный сплав)

Выводы. Обоснован выбор типа наномодификатора, способ его таблетирования. Для алюминиевых сплавов рекомендован нанодispersный карбид кремния β -SiC, для никелевых сплавов – нанодispersный карбонитрид титана Ti(CN) фракцией 50...100 нм.

Проведены экспериментальные плавки алюминиевых сплавов АМг6, О1570 и никелевого сплава ЖСЗДК с обработкой наномодификаторами.

В модифицированных сплавах получено значительное измельчение дендритной и зеренной структуры. В результате модифицирования достигнуто повышение механических свойств:

- Для алюминиевых сплавов, σ_B – на 7,3%; σ_T – на 4,9%; δ – на 12,4 %.
- Для никелевых сплавов, σ_B – на 9,3%; σ_T – на 12,9%; δ – на 19,4 %.

Список литературы: 1. Михаленков, К. В. К вопросу об усвояемости тугоплавких соединений жидкими алюминиевыми сплавами [Текст] / К. В. Михаленков, Д. Ф. Чернега, В. Г. Могилатенко // Процессы литья. – 1996. – №1. – С. 3-10. 2. Богуслав, В. О. Авиационно-космичні матеріали та технології [Текст] / В. О. Богуслав, О. Я. Качан, Н. Е. Калініна, В. Ф. Мозговий, В. Т. Калінін. – Запоріжжя: Мотор Січ, 2009. – 385 с. 3. Калініна, Н. Е. Наноматеріали і нанотехнології: отримання, будова, застосування. Монографія [Текст] / Н. Е. Калініна, В. Т. Калінін, З. В. Вилишук, А. В. Калінін, О. А. Кавац. – Дніпропетровськ: Изд-во Маковецкий, 2012. – 192 с. 4. Патент РФ 2069702, МКІ 6 С21 С1/00. Модифікатор [Текст] / В. Т. Калінін, В. В. Шатов, В. І. Колмаков. – №93030977; Заявл. 01.03.93. Опубл. 27.11.96. Бюл. №33. – 8 с. 5. Патент України на корисну модель № 71677. МПК С22С1/00 Таблетований модифікатор

для обробки алюмінієвих сплавів [Текст] / Н. С. Калініна, З. В. Вилишук, О. А. Кавац, О. В. Калінін. – заявка № u 2011 15055 від 19.12.20011, опубл. 25.07.2012 Бюл. №14. 6. Борисенко, В. Е. Наноматеріали і нанотехнології [Текст] / В. Е. Борисенко, Н. К. Толочко. – Мінськ: ІІЦ БГУ, 2008. – 375 с. 7. Балоян, Б. М. Наноматеріали [Текст] / Б. М. Балоян, А. Г. Колмаков. – М: Угреша, 2007. – 386 с. 8. Андриєвський, Р. А. Наноматеріали: концепція і сучасні проблеми [Текст] / Р. А. Андриєвський // Російський хімічний журнал. – 2002. – №5. – С. 50-56. 9. Головін, Ю. І. Введення в нанотехнологію [Текст] / Ю. І. Головін. – М.: Машинобудування, 2003. – 112 с. 10. Калінін, В. Т. Синтез і застосування нанодispersних порошків-модифікаторів [Текст] / В. Т. Калінін, В. А. Федотов // Системні технології. – 2012. – №1. – С. 67-71.

Bibliography (transliterated): 1. Mihalenkov, K., Chernega, D., Mogilatenko, V. (1996). K voprosu ob usvojaemosti tugoplavkih soedinenij zhidkimi aljuminievymi splavami. Processy lit'ja, №1, 3-10. 2. Boguslaev, V., Kachan, N., Kalinina, N., Mozgovij, V. (2009). Aviacijno-kosmichni materialy ta tehnologii. Zaporizhzhja: Motor Sich, 385. 3. Kalinina, N., Kalinin, V., Vilishhuk, Z. (2012). Nanomaterialy i nanotehnologii: poluchenie, stroenie, primenenie. Monografiya, Dnepropetrovsk: Izd-vo Makoveckij, 192. 4. Patent RF 2069702, MKI 6 S21 S1/00. Modifikator. Kalinin V. T., Shatov V. V., Kolmakov V. I., №93030977; Zajavl. 01.03.93. Opubl. 27.11.96. Bjul, №33, 8. 5. Patent Ukraini na korisnu model' № 71677. MPK S22S1/00 Tabletovaniy modifikator dlja obrobki aljuminievih splaviv. N. S. Kalinina, Z. V. Vilishhuk, O. A. Kavac, O. V. Kalinin, zajavka № u 2011 15055 vid 19.12.20011, opubl. 25.07.2012 Bjul. №14. 6. Borisenko, V., Tolochko, N. (2008). Nanomaterialy i nanotehnologii. Minsk: IC BGU, 375. 7. Balojan, B., Kolmakov, A. (2007). Nanomaterialy. Moscow: Ugresha, 386. 8. Andrievskij, R. (2002). Nanomaterialy: koncepcija i sovremennye problem. Ros. him. zhurnal, 5, 50-56. 9. Golovin, Ju. (2003). Vvedenie v nanotehnologiju. Moscow: Mashinostroenie, 112. 10. Kalinin, V., Fedotov, V. (2012). Sintez i primenenie nanodispersnyh poroshkov-modifikatorov. Sistemni tehnologii, 1, 67-71.

Поступила (received) 26.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Калінін Александр Васильевич – кандидат технічних наук, Придніпровська державна академія

строительства и архитектуры, доцент кафедры "Материаловедения и обработки материалов"; ул. Чернышевского, 24а, г. Днепропетровск, Украина, 49600; тел: 066-305-64-51; e-mail: kalinina-ne@yandex.ru.

Калінін Олександр Васильович – кандидат технічних наук, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, доцент кафедри "Матеріалознавства та обробки матеріалів"; вул. Чернишевського, 24а, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600; тел: 066-305-64-51; e-mail: kalinina-ne@yandex.ru.

Kalinin Alexander – candidate of technical sciences, Dnieper State Academy of Construction and Architecture; st. Chernyshevskogo, 24a, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600; phone: 066-305-64-51; e-mail: kalinina-ne@yandex.ru.

УДК 621.891

Ю. О. ГРАДИСЬКИЙ, О. В. КАРПУСЕНКО, О. Г. ЯНЧИК

ВПЛИВ ШВИДКОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ НА СТРУКТУРУ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СТАЛЕЙ

Розглянуто різноманітні методи підвищення експлуатаційних характеристик (зносостійкості, витривалості, ударної в'язкості), та їх вплив на структуру інструментальних сталей, з яких виготовлено деталі, що перебувають у рухомому стані. Аналіз показав, що одним з факторів який впливає на структуру є швидкість охолодження безпосередньо нанесеного покриття і основи на яку впливає енергія технологічного обладнання. Основними структурними складовими, що впливають на характеристики зміцнених деталей є аустеніт, мартенсит та карбідні включення. Крім наявних структурних складових великий вплив має їх процентне співвідношення та дисперсність карбідних фаз. В даний час не існує єдиної думки щодо значимості швидкості охолодження в структуроутворенні при нанесенні зміцнюючих покриттів.

Ключові слова: експлуатаційні характеристики, швидкість охолодження, структура, фазовий склад.

Постановка проблеми. Підвищення експлуатаційних характеристик (зносостійкості, втомної міцності, ударної в'язкості) деталей машин, що перебувають у рухомому стані, є одним з найбільш актуальних напрямків розвитку сучасного машинобудування. Практично завжди вузли тертя машин і механізмів працюють при одночасному впливові поверхневого навантаження тертям і циклічного навантаження зусиллями (колінчаті вали, осі). Тому становить величезний інтерес вивчення таких систем у плані підвищення надійності з урахуванням зносостійкості й опору втомі [1].

Традиційно, деталі машин і механізмів виготовлені з недорогих і недефіцитних матеріалів, для підвищення їх надійності й довговічності, піддають об'ємному або поверхневому загартуванню, хіміко-термічній, лазерній й іншим видам обробки [2]. Однак традиційні методи поверхневого зміцнення, застосовувані в промисловості, не завжди задовольняють тим вимогам, які пред'являються до нової техніки. У деяких випадках, застосування таких методів важке через дорожнечу, громіздкість устаткування, тривалість процесу, наявність додаткових заключних операцій необхідних для одержання заданих експлуатаційних параметрів. Особливо це необхідно враховувати в умовах ремонтного або дрібносерійного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізуємо наявні в літературі дані про вплив швидкості охолодження при кристалізації, на структуру, фазовий склад сталей і сплавів, властивості матеріалу покриття при його затвердінні з різними швидкостями. Є безліч даних про вплив швидкості охолодження на властивості матеріалів. Однак, наявні відомості по цьому питанню не завжди повні й найчастіше суперечливі [3].

Метою статті є аналіз впливу швидкості охолодження на структуру інструментальних сталей при різних методах зміцнення.

Аналіз впливу швидкості охолодження на структуру інструментальних сталей. Особливий інтерес представляє вивчення впливу швидкості охолодження на структуру і властивості інструментальних

сталей. Управляючи швидкістю охолодження, можна одержувати вироби із заданими властивостями. При виготовленні інструмента, це дозволить виключити з технології деякі додаткові види остаточної обробки, підвищити економічність і знизити собівартість виробів.

В роботі [4] наведені дані, про вплив швидкості охолодження в інтервалі 10...650°C/c на структуру і експлуатаційні характеристики інструментальних сталей з низьким вмістом вольфраму (до 1,1 %).

Автори [4] прийшли до висновку, що охолодження з малими швидкостями (до 450°C/c) не усуває структурну неоднорідність і ліквідацію основних легуючих елементів. При підвищенні швидкості охолодження до 650 °C/c ліквідаційні явища придушуються. Структура при цьому являє собою троостомартенсит з ділянками ледебуридної евтектики. Збільшується дисперсність первинних карбідних і карбонітридних фаз. Властивості такої сталі відповідають рівню властивостей сталей після загартування. Підвищення властивостей пояснюється високою дисперсністю структури, підвищеною легуваністю твердого розчину, оптимальною морфологією і розподілом ледебуридної евтектики й зміцнюючих інтерметалідних фаз.

Застосування прискореного охолодження приводить до підвищення міцності, пластичності й в'язкості високовуглецевої сталі У13 [5]. Найбільш оптимальне сполучення, властивостей було отримано при охолодженні зі швидкістю 80°C/c. Більш глибоке охолодження було визнано недоцільним, через підвищений рівень залишкових напружень у металі. Характер поліпшення механічних властивостей можна зв'язати із впливом прискореного охолодження на кінетику перлітного перетворення, а також морфологію перліту, що утвориться, і надлишкових карбідів. Дисперсність пластинчастого перліту в мікроструктурі сталі підвищується, а карбіди дрібні і їх частка з формою, близькою до сферичної, більша. Застосування прискореного охолодження придушує ріст цементитних часток, в

тому числі і вторинних. Це й спричиняє менші розміри і більшу сферичність карбідів. Все це сприяє збільшенню міцності, і пластичності при збереженні необхідного рівня твердості.

Більш детально розглянемо утворення структури швидкорізальної сталі Р6М5 залежно від швидкості охолодження. В літературі є дані про вплив невеликих швидкостей охолодження ($0,1 \dots 10^2$ °C/c) [3], а також є відомості про формування структури при великих швидкостях охолодження ($10^3 \dots 10^7$ °C/c) [6].

Механізм протікання кристалізації при невеликих швидкостях охолодження досить докладно описаний в роботах [3, 7]. Структура швидкорізальної сталі при швидкості охолодження $0,1 \dots 1$ °C/c, являє собою аустеніт плюс дисперсні карбіди. Крім того, у сталі присутній δ -ферит (продукти його розпаду). При швидкості охолодження $0,4$ °C/c, спостерігається стрибкоподібне зменшення δ -фериту практично до нуля. За іншим даними [8], поява метастабільного δ -фериту в структурі сталі починається при швидкості охолодження більше 10^5 °C/c. На думку авторів [3] наявність залишкової δ -фази неминуча навіть при дуже великих швидкостях охолодження.

При малих швидкостях охолодження, структура сталі неоднорідна, зерна аустеніту великі і характеризуються хімічною неоднорідністю. Карбідні включення утворюються як всередині зерна аустеніту, так і по його границях, у вигляді великих часток, які є концентраторами напружень і знижують механічні властивості. Ступінь зниження механічних властивостей визначається розміром цих карбідів [9].

Збільшення швидкості охолодження до 10^2 °C/c не викликає якісних змін механізму і кінетики фазових перетворень при затвердінні сталі Р6М5 і приводить лише до здрібнювання структурних складових [3].

Подібні результати були отримані в роботі [6]. При затвердінні швидкорізальної сталі до швидкостей охолодження $5 \times 10^2 \dots 10^3$ °C/c структура складається з перитектичного аустеніту і аустенітно-карбідної евтектики. При подальшому збільшенні тепловідводу, фазовий склад сталі змінюється - в її структурі з'являється δ -твердий розчин.

На думку інших авторів [10], δ -ферит в структурі швидкорізальної сталі відсутній. Такої ж думки дотримуються автори роботи [8]. При кристалізації зі швидкістю охолодження в межах $10 \dots 10^3$ °C/c структура швидкорізальної сталі являє собою сукупність рівноосних дендритів первинного аустеніту з пластинчастою карбідною евтектикою у міждендритних проміжках. Фазовий склад включає мартенсит, залишковий аустеніт і складнолеговані карбіди типу Me_2C . Збільшення швидкості охолодження в зазначеному інтервалі приводить до зменшення величини дендритних зерен без зміни їх морфології, і до збільшення кількості залишкового аустеніту.

Порівнюючи результати роботи [8] з іншими джерелами [10 - 13] можна припустити, що при швидкості охолодження не більше 10^3 °C/c, термічне переохолодження розплаву не відбувається. Склад фаз, що кристалізуються, практично визначається рівноважною діаграмою стану [14], отже утворення аустеніту відбувається по перитектичній реакції $L + \delta-Fe \rightarrow \gamma-Fe$.

Швидкість охолодження більше 10^3 °C/c характерна тим, що при таких швидкостях охолодження виділення аустеніту при кристалізації відбувається безпосередньо з рідкого стану [15]. На думку інших авторів [6, 10] кристалізація безпосередньо з розплаву починається зі швидкості охолодження більше 10^4 °C/c. При цьому, основним елементом структури є продукти розпаду γ -твердого розчину і евтектичні карбіди.

Відзначено [15], що в умовах прискореного охолодження, поряд з прямим виділенням аустеніту з розплаву, можливо його утворення по перитектичній реакції, однак вона характеризується низьким ступенем завершеності і придушується при швидкості охолодження $10^3 \dots 10^5$ °C/c, а при швидкостях охолодження більше 5×10^3 °C/c - придушується утворення δ -фериту.

Збільшення швидкості охолодження до 10^4 °C/c приводить до трансформації форм кристалізації первинного аустеніту від майже рівноважних дендритних зерен до розгалужених дендритів з чіткою анізотропією росту первинних і вторинних стовбурів. Спостерігається різке збільшення їх розмірів. При швидкості охолодження 10^4 °C/c переважною фазою в структурі сталі є аустеніт. В міждендритних проміжках зберігається евтектика на базі карбіду Me_2C [8]. Кількість мартенситу не перевищує 6 %.

В роботі [12] встановлено, що при охолодженні розплаву, зі швидкостями $10^4 \dots 4 \times 10^5$ °C/c основними фазами в структурі швидкорізальної сталі є мартенсит, аустеніт і карбіди типів MC , M_2C і M_6C . Збільшення швидкості охолодження в даному інтервалі приводить до збільшення частки аустеніту і відповідно, зменшенню кількості мартенситу при одночасному зниженні вмісту вуглецю і легуючих елементів у мартенситі. Структурна неоднорідність зберігається і при охолодженні з великими швидкостями - гілки дендритів складаються з пластинчастого мартенситу і високолегованого аустеніту, а карбіди зосереджені в міждендритному просторі, утворюючи суцільний каркас в об'ємі часток.

Значне пересичення первинного і евтектичного аустеніту вуглецем і легуючими елементами при швидкостях охолодження $10^3 \dots 10^5$ °C/c виявлено в роботі [15]. Таке пересичення надалі зберігається і у мартенситі.

Дослідження структури при швидкості охолодження $10^3 \dots 10^5$ °C/c [6], показало, що евтектика має стрижневу морфологію і тільки при охолодженні зі швидкістю більше 10^5 °C/c спостерігається утворення структури тонкого конгломерату фаз. Подальше підвищення швидкості охолодження до 10^6 °C/c приводить до виродження дендритних форм кристалізації і утворенню переважно дрібнозернистої структури [10].

В умовах надвисоких швидкостей охолодження (10^6 °C/c) структура швидкорізальної сталі складається δ -фериту і евтектики - аустеніт евтектичний і карбіди [6]. Однак, за даними [8] в інтервалі швидкостей охолодження $5 \times 10^4 \dots 5 \times 10^5$ °C/c поряд із залишковим аустенітом спостерігається значна кількість (до 80 %) α -фази. Зовсім інші дані отримані в роботі [15]. При швидкостях охолодження $10^4 \dots 10^5$ °C/c структура швидкорізальної сталі має максимальну кількість залишкового аустеніту (до 50 - 60 %). Зміна кількості

аустеніту в залежності від швидкості охолодження наведена на рис. 1.

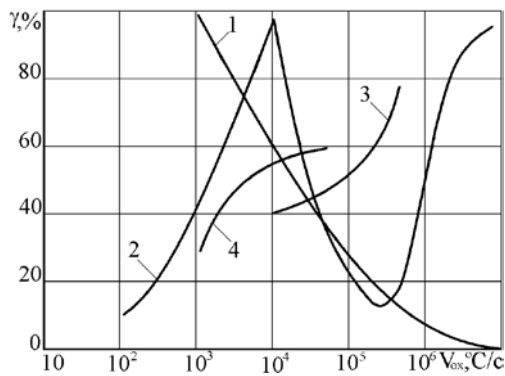


Рис. 1 – Кількість залишкового аустеніту залежно від швидкості охолодження за даними робіт (1 – [6], 2 – [8], 3 – [12], 4 – [15])

При охолодженні розплаву швидкорізальної сталі зі швидкістю більше 10^6 C/c структура сталі являє собою зерна δ -фериту оточені карбідною евтектикою. При швидкості охолодження 10^7 C/c утворюються дендрити δ -фериту [6]. Автори [12] висловлюють думку, що охолодження зі швидкістю $10^6 \dots 10^7$ C/c приведе до утворення δ -фериту, аустеніту і карбідів. І тільки при швидкостях охолодження, близьких до 10^8 C/c [16], структура швидкорізальної сталі буде майже повністю складатися з δ -фериту.

Висновки. З проведеного аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що в даний час немає єдиної думки щодо механізму структуроутворення в швидкорізальних сталях при охолодженні з високими і надвисокими швидкостями. А як відомо [10], експлуатаційні властивості виробів багато в чому визначаються структурою і фазовим складом вихідного металу.

В даний час сформувався дві думки з приводу фазового складу структури швидкорізальної сталі, що формується при швидкому її охолодженні. На думку одних [10, 12, 15] в структуру швидкорізальної сталі входять наступні фази: α -твердий розчин (мартенсит), аустеніт і карбіди. На думку інших [6, 7, 8, 17], при великих швидкостях охолодження крім мартенситу, аустеніту, карбідів у структуру входить δ -ферит - м'яка структурна складова.

Однак, всі дослідники прийшли до єдиної думки, що хімічний склад, кількісне співвідношення і характер розподілу фаз змінюються в широких межах залежно від швидкості охолодження при кристалізації.

Список літератури: 1. *Высоцкий, М. С.* Трибофатика: новые пути для повышения надежности машин [Текст] / М. С. Высоцкий, В. Н. Корешков, В. А. Марченко и др. // Вести АН Беларуси. Серия физико-технических наук. – 1994. – № 4. – С. 32–41. 2. *Черновол, М. И.* Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники [Текст] / М. И. Черновол. – К.: УМКВО, 1989. – 255 с. 3. *Нижниковская, П. Ф.* Влияние скорости охлаждения на механизм и кинетику фазовых превращений при затвердевании W-Mo-быстрорежущих сталей [Текст] / П. Ф. Нижниковская, Е. П. Калинушкин, Е. В. Аршава, О. С. Якушев // МиТОМ. – 1987. – № 9. – С. 7–11. 4. *Ональчук, А. С.* Влияние скорости охлаждения при кристаллизации на структурообразование и свойства инструментальных сталей [Текст] / А. С. Ональчук, С. Е. Кондратюк, Али Хатра, В. Н. Моисеенко // Процессы литья. – 1995. – № 1. – С. 69–

73. 5. *Трусов, В. А.* Влияние ускоренного охлаждения на структуру и свойства высокоуглеродистой инструментальной стали [Текст] / В. А. Трусов, В. Т. Жадан, И. Е. Оратовская и др. // Известия вузов. Черная металлургия. – 1989. – № 3. – С. 104–109. 6. *Калинушкин, Е. П.* Влияние скорости охлаждения при кристаллизации порошковых быстрорежущих сталей на формирование их первичной структуры [Текст] / Е. П. Калинушкин, Е. В. Аршава, О. С. Якушев // МиТОМ. – 1987. – № 9. – С. 13–17. 7. *Нижниковская, П. Ф.* Формирование структуры быстрорежущей стали при кристаллизации [Текст] / П. Ф. Нижниковская, Е. П. Калинушкин, Л. М. Скачковский, Г. Ф. Демченко // МиТОМ. – 1982. – № 11. – С. 23–30. 8. *Есин, В. О.* Влияние скорости охлаждения расплава на процесс кристаллизации и структурные характеристики быстрорежущей стали [Текст] / В. О. Есин, В. Л. Гиришов, В. А. Сазонова и др. // Расплавы. – 1988. – Т. 2, Вып. 3. – С. 39–45. 9. *Гуляев, А. П.* Основы металловедения порошковых сплавов [Текст] / А. П. Гуляев // МиТОМ. – 1988. – № 11. – С. 28–33. 10. *Попандануло, А. Н.* Структура и фазовый состав различнолегированных порошковых быстрорежущих сталей [Текст] / А. Н. Попандануло, Г. Э. Титенская // МиТОМ. – 1982. – № 10. – С. 6–8. 11. *Короткова, Л. П.* Исследование распыленных порошков быстрорежущих сталей [Текст] / Л. П. Короткова, Г. Г. Мухин, М. С. Павлов // Известия вузов. Машиностроение. – 1980. – № 6. – С. 91–94. 12. *Озерский, А. Д.* Структура быстрорежущей стали при больших скоростях затвердевания [Текст] / А. Д. Озерский, Х. Фишмайстер, А. Олссон, Г. А. Панова // МиТОМ. – 1984. – № 3. – С. 19–24. 13. *Петров, А. К.* Исследование кристаллизации металлических порошков быстрорежущих сталей, получаемых путем распыления жидкой фазы [Текст] / А. К. Петров, И. С. Мирошниченко, В. В. Парабин и др. // Порошковая металлургия. – 1973. – № 1. – С. 16–20. 14. *Мирошниченко, И. С.* Закалка из жидкого состояния [Текст] / И. С. Мирошниченко. – М.: Металлургия, 1982. – 167 с. 15. *Мухин, Г. Г.* О природе высокой твердости распыленных быстрорежущих сталей [Текст] / Г. Г. Мухин, Л. П. Короткова // МиТОМ. – 1982. – № 10. – С. 8–11. 16. *Rayment, J. J.* The asquenched microstructure and tempering behavior of rapidly solidified tungsten steels [Text] / J. J. Rayment, B. Cantor // Metallurgical and Materials Transactions A. – 1981. – Vol. 12, № 9. – P. 1557–1568. doi:10.1007/bf02643561 17. *Чернышева, Т. А.* Влияние фракционного состава исходных порошков на структуру и свойства быстрорежущих сталей [Текст] / Т. А. Чернышева, Л. К. Болотова, А. П. Гуляев, Л. П. Сергиенко // МиТОМ. – 1987. – № 9. – С. 17–19.

Bibliography (transliterated): 1. *Vysockij, M. S., Korshkov, V. N., Marchenko, V. A. i dr.* (1994). Tribofatika: novye puti dlya povysheniya nadezhnosti mashin. Vesti AN Belarusi. Seriya fiziko-tekhnicheskix nauk, 4, 32–41. 2. *Chernovol, M. I.* (1989). Vosstanovlenie i uprochnenie detalej selskoxozyajstvennoj texniki. Kiev: UMKVO, 255. 3. *Nizhnikovskaya, P. F., Kalinushkin, E. P., Arshava, E. V., Yakushev, O. S.* (1987). Vliyanie skorosti oxlazhdeniya na mexanizm i kinetiku fazovyx prevrashhenij pri zatverdevanii W – Mo - bystrozrezhushhix stalej. MiTOM, № 9, 7–11. 4. *Onalchuk, A. S., Kondratyuk, S. E., Ali, Xatra, Moiseenko, V. N.* (1995). Vliyanie skorosti oxlazhdeniya pri kristallizacii na strukturoobrazovanie i svojstva instrumentalnyx stalej. Processy litya, № 1, 69–73. 5. *Trusov V. A., Zhadan V. T., Oratovskaya I. E. i dr.* (1989). Vliyanie uskorennoogo oxlazhdeniya na strukturu i svojstva vysokouglerodistoj instrumentalnoj stali. Izvestiya vuzov. Chernaya metallurgiya, № 3, 104–109. 6. *Kalinushkin, E. P., Arshava, E. V., Yakushev, O. S.* (1987). Vliyanie skorosti oxlazhdeniya pri kristallizacii poroshkovyx bystrozrezhushhix stalej na formirovanie ix pervichnoj struktury. MiTOM, № 9, 13–17. 7. *Nizhnikovskaya, P. F., Kalinushkin, E. P., Skachovskij, L. M., Demchenko, G. F.* (1982). Formirovanie struktury bystrozrezhushhej stali pri kristallizacii // MiTOM, № 11, 23–30. 8. *Esin, V. O., Girshov, V. L., Sazonova, V. A. i dr.* (1988). Vliyanie skorosti oxlazhdeniya rasplava na process kristallizacii i strukturnye karakteristiki bystrozrezhushhej stali // Rasplavy, T. 2. V. 3, 39–45. 9. *Gulyaev, A. P.* (1988). Osnovy metallovedeniya poroshkovyx splavov. MiTOM, № 11, 28–33. 10. *Popandapulo, A. N., Titenskaya, G. E.* (1982). Struktura i fazovyy sostav razlichnolegirovannyx poroshkovyx bystrozrezhushhix stalej. MiTOM, № 10, 6–8. 11. *Korotkova, L. P., Muxin, G. G., Pavlov, M. S.* (1980). Issledovanie raspylenyx poroshkov bystrozrezhushhix stalej. Izvestiya vuzov. Mashinostroenie, № 6, 91–94. 12. *Ozerskij, A. D., Fishmajster, X., Olsson, A., Panova, G. A.* (1984). Struktura bystrozrezhushhej stali pri bolshix skorostyax zatverdevaniya. MiTOM, № 3, 19–24. 13. *Petrov, A. K., Miroshnichenko, I. S., Parabin, V. V. i dr.* (1973). Issledovanie kristallizacii metallicheskix poroshkov bystrozrezhushhix stalej, poluchaemyx putem raspylennyya zhidkoj fazy. Poroshkovaya metallurgiya, № 1, 16–20. 14. *Miroshnichenko, I. S.* (1892). Zakalka iz zhidkogo sostoyaniya. Moscow: Metallurgiya, 167. 15. *Muxin, G. G.,*

Korotkova, L. P. (1982). O prirode vysokoy tverdosti raspylennykh bystrorezhushhix stalej // *MiTOM*, № 10, 8–11. **16**. Rayment, J. J., Contor, B. (1981). *Met. Trans. A*. 12A, № 9, 1557. doi:10.1007/bf02643561 **17**. Chernysheva, T. A., Bolotova, L. K.,

Gulyaev, A. P., Sergienko, L. P. (1987). Vliyanie frakcionnogo sostava ishodnykh poroshkov na strukturu i svoystva bystrorezhushhix stalej // *MiTOM*, № 9, 17–19.

Надійшла (received) 04.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Градиський Юрій Олександрович – кандидат технічних наук, Харківський національний технічний університет сільськогосподарства ім. Петра Василенка, доцент кафедри “Деревообробувальних технологій і системотехніки лісового комплексу”; вул. Артема, 44, м. Харків, Україна, 61002; тел.: 067-571-78-48; e-mail: kafolk@bigmir.net.

Градиський Юрій Олександрович – кандидат технических наук, доцент, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, доцент кафедры “Деревообрабатывающих технологий и системотехники лесного комплекса”; ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 067-571-78-48; e-mail: kafolk@bigmir.net.

Gradysky Yuri – Ph.D., associate professor, Petro Vasilenko Kharkov National Technical University of Agriculture, an assistant professor of “Woodworking technologies and systems engineering of forest complex”; Artem st., 44, Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: 067-571-78-48; e-mail: kafolk@bigmir.net.

Карпуненко Олексій Вікторович – аспірант, Харківський національний технічний університет сільськогосподарства ім. Петра Василенка, кафедра “Деревообробувальних технологій і системотехніки лісового комплексу”; вул. Артема, 44, м. Харків, Україна, 61002; тел.: 0572-62-21-25; e-mail: kafolk@bigmir.net.

Карпуненко Алексей Викторович – аспірант, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенка, кафедра “Деревообрабатывающих технологий и системотехники лесного комплекса”; ул. Артема, 44, г. Харьков, Украина, 61002; тел.: 0572-62-21-25; e-mail: kafolk@bigmir.net.

Karpysenko Alexey - postgraduate student, Petro Vasilenko Kharkiv National Technical University of Agriculture, assistant of “Woodworking technology and systems engineering of forest complex”; Artem st., 44, Kharkov, Ukraine, 61002; tel.: 0572-62-21-25; e-mail: kafolk@bigmir.net.

Янчик Олександр Григорович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Харківський національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, доцент кафедри “Охорона праці та навколишнього середовища”, вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61000; тел.: 067- 225-24-97; e-mail: alex_yanchik@ukr.net.

Янчик Олександр Григорьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Харьковский национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, доцент кафедры “Охрана труда и окружающей среды”, ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61000; тел.: 067-225-24-97; e-mail: alex_yanchik@ukr.net.

Yanchik Alexander – Ph.D., senior researcher, Kharkiv National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Associate Professor of “Health and Environment”; Frunze st., 21, Kharkov, Ukraine, 61000; tel.: 067-225-24-97; e-mail: alex_yanchik@ukr.net.

УДК 669.715:621.746

Г. Н. ТРЕГУБЕНКО

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОРОДА МЕЖДУ ФАЗАМИ ПРИ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМИНИЯ И ЕГО СПЛАВОВ

Рассмотрено перераспределение водорода между фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов. Получены выражения для расчета текущих значений в процессе затвердевания алюминия и его сплавов концентраций водорода в пограничном диффузионном слое, на фронте кристаллизации, в объеме оставшегося расплава, эффективного коэффициента распределения водорода, толщины пограничного диффузионного слоя, коэффициента массопереноса водорода, критерия Стэнтона. Результаты исследований можно применять на практике с целью оптимизации технологического процесса получения качественных отливок из алюминия и его сплавов.

Ключевые слова: алюминий, затвердевание, перераспределение, водород, фронт кристаллизации, коэффициент распределения, пограничный диффузионный слой.

Введение. Алюминий является одним из важнейших металлов как для экономики Украины, так и других стран. Сейчас в мире производится ~ 50 млн. тонн алюминия в год и по объемам его потребления он уступает только стали. Алюминий используется практически во всех областях человеческой деятельности. Поэтому актуальной задачей является получение качественных металлоизделий из алюминия и его сплавов.

Анализ закономерностей взаимодействия газов с алюминием и его сплавами позволяет заключить, что преобладающая часть дефектов при их производстве в той или иной мере связана с газами. При этом, основное негативное влияние на качество изделий из алюминия и его сплавов оказывает водород, содержание которого в металле составляет 80 – 90 % от общего объема газов.

© Г. Н. Трегубенко. 2015

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Основное влияние на процесс образования газовой пористости оказывает выделяющийся при кристаллизации водород, что связано с резким скачкообразным изменением его растворимости с 0,69 (расплав) до 0,036 см³/100 г (твердая фаза). Поэтому растущие кристаллы содержат намного меньше водорода, избыток которого выделяется в оставшуюся жидкую фазу [1].

В реальных промышленных условиях при плавке алюминия и его сплавов содержание водорода в расплаве ($[H]_0$) значительно превышает его растворимость при температуре солидус ($[H]_{ms}$) [2], поэтому для предотвращения вредного влияния газов на свойства изделий необходимо проведение ряда технологических мероприятий [3]. Например, применение полупри непрерывного литья для получения слитков из алюминия и его деформируемых сплавов, в которых грубая газовая пористость - сравнительно редкое явление. Что же касается производства отливок из алюминия и его литейных сплавов, то для снижения газовой пористости применяют различные виды рафинирования [1, 3], давление на металл после его заливки в форму, ускорение процесса затвердевания, усиление питания отливок и обеспечение направленного их затвердевания [4]. Однако для проведения этих достаточно дорогих технологических мероприятий необходимо знать какие факторы и как влияют на перераспределение водорода между фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов. В настоящее время недостаточно полно разработаны теоретические основы этого процесса, что приводит к значительному удорожанию производства за счет не оптимального использования дорогостоящего оборудования (увеличивается время рафинирования, используются завышенные давления или скорости охлаждения и т.п.).

Цель и задачи исследования. Целью работы является исследование перераспределения водорода между фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Получение простых и удобных для практического применения выражений для расчета текущих значений в процессе затвердевания алюминия и его сплавов концентраций водорода в пограничном диффузионном слое, на фронте кристаллизации, в объеме оставшегося расплава и эффективного коэффициента распределения водорода.

2. Выполнить полный анализ поведения водорода на фронте кристаллизации при затвердевании отливок из алюминия и его сплавов и определить толщину пограничного диффузионного слоя, коэффициент массопереноса водорода, критерий Стэнтона.

Результаты исследования перераспределения водорода между фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов. Известно [5], что при затвердевании алюминиевого расплава, име-

ющего $[H]_0 > [H]_{ms}$, вследствие избирательной кристаллизации первоначально образующаяся твердая фаза имеет концентрацию $\frac{[H]_{ms}}{[H]_{жс}} [H]_0$ (где $[H]_{жс}$ - растворимость водорода в жидком металле) и на межфазной границе появляются "лишние" атомы водорода. Обычно вблизи границы раздела фаз существует пограничный диффузионный слой, в котором перенос избытка водорода от растущей твердой фазы в жидкую осуществляется исключительно путем молекулярной диффузии. Если скорость диффузии водорода через пограничный слой в жидкой фазе будет меньше скорости продвижения фронта кристаллизации, то это приведет к возникновению перед ним слоя жидкости с содержанием водорода более высоким, чем $[H]_0$. Тогда следующий закристаллизовавшийся слой будет иметь более высокую концентрацию водорода. Содержание водорода в твердой фазе $[H]_s$ будет увеличиваться до тех пор, пока не будет достигнуто, как минимум, значение растворимости газа при температуре ликвидус и затем при сохранении внешних условий будет оставаться постоянным (кривая ABC на рис. 1, а).

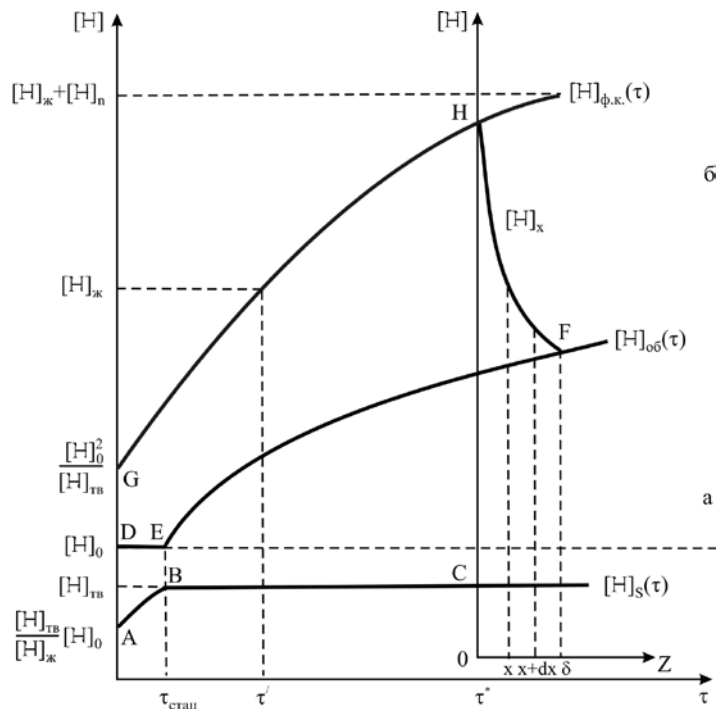


Рис. 1 – Перераспределение водорода между жидкой и твердой фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов: а - распределение водорода в твердой фазе; б - распределение водорода в жидкой фазе; ABC - изменение содержания водорода в твердой фазе; DEF - изменение содержания водорода в объеме расплава; GH - изменение содержания водорода в расплаве, прилегающем к фронту кристаллизации; HF - изменение локальной концентрации водорода на расстоянии x от фронта кристаллизации; $\tau_{стац}$ - время, прошедшее от начала кристаллизации до установления стационарного распределения на фронте кристаллизации

При этом концентрация водорода в жидкой фазе будет увеличиваться только на фронте кристаллизации, без поступления добавочных атомов водорода в

объем расплава, пока не установится стационарный режим, когда количество водорода, скапливающееся в расплаве у фронта затвердевания в единицу времени, будет равно его количеству диффундирующему от фронта кристаллизации через пограничный слой толщиной δ в объем жидкой фазы.

Толщину затвердевшего слоя, образовавшегося до установления стационарного распределения на фронте кристаллизации и соответствующему участку DE на рис. 1, б можно определить по формуле:

$$y = \frac{D_H}{\kappa v_{кр}}, \quad (1)$$

где y - толщина затвердевшего слоя, см; D_H - коэффициент диффузии водорода в жидкой фазе, см²/с; κ - эффективный коэффициент распределения водорода; $v_{кр}$ - линейная скорость кристаллизации, см/с.

При обычных скоростях кристаллизации эта величина редко превышает 0,1 мм. Накопление избыточных атомов водорода в диффузионном слое определяется скоростью перемещения фронта кристаллизации, в то время как скорость их отвода в объем жидкого металла зависит от коэффициента его диффузии. Количество водорода, подводимого за счет диффузии к единице поверхности, находящейся на расстоянии x от фронта кристаллизации, равно $-D_H (\partial[H]/\partial x)_x$, что определяет форму кривой HF на рис. 1. Количество водорода, диффундирующего вглубь расплава с поверхности, находящейся на расстоянии $x + dx$, равно $-D_H (\partial[N]/\partial x)_{x+dx}$. Результирующий диффузионный поток водорода, приходящийся на единицу объема, можно выразить следующим образом: $-D_H (\partial^2[H]/\partial x^2)$. Поток из этого же элемента объема, обусловленный процессом кристаллизации, равен $v_{кр} (\partial[H]/\partial x)$.

Для стационарного распределения водорода можно записать:

$$D_{Hкр} \left(\frac{\partial^2[H]}{\partial x^2} \right) + v \left(\frac{\partial[H]}{\partial x} \right) = 0. \quad (2)$$

Решение этого уравнения для плоского фронта кристаллизации при отсутствии конвективного перемещения расплава получено Тиллером [6]:

$$[H]_{(x)} = [H]_{об} \left[1 + \frac{1-\kappa_0}{\kappa_0} \exp \left(-\frac{v_{кр}}{D_H} x \right) \right], \quad (3)$$

где $[H]_{(x)}$ - локальная концентрация водорода в расплаве в пределах диффузионного слоя на расстоянии x от фронта кристаллизации, мас.%; $[H]_{об}$ - текущая концентрация водорода в объеме расплава, мас.%; $(1-\kappa_0)$ - коэффициент сегрегации.

В реальных условиях при затвердевании отливки, в той или иной мере всегда существует конвективное перемешивание не затвердевшего расплава. Поэтому применение уравнения (3) для описания перераспределения водорода между фазами при нормальной кристаллизации будет приводить к существенным погрешностям, которые исключаются, если

заменить в нем равновесный коэффициент распределения водорода на его эффективное значение κ [7].

Итак, при затвердевании отливки из алюминия и его сплавов распределение водорода в диффузионном слое должно описываться уравнением:

$$[H]_{(x)} = [H]_{об} \left[1 + \frac{1-\kappa}{\kappa} \exp \left(-\frac{v_{кр}}{D_H} x \right) \right]. \quad (4)$$

Уравнение (4) при условии $x=0$ превращается в выражение для определения концентрации водорода в расплаве на фронте кристаллизации кривая GH на рис. 1, б:

$$[H]_{ф.к.} = \frac{[H]_{об}}{\kappa}, \quad (5)$$

где $[H]_{ф.к.}$ - содержание водорода в расплаве на фронте кристаллизации, мас.%.
Как видно из уравнений (4) и (5), для определения локальной концентрации водорода в приграничном диффузионном слое, обогащенном водородом, и его содержания на межфазной границе необходимо знать текущие значения концентрации водорода в объеме расплава и эффективного коэффициента распределения водорода. Однако к настоящему времени не существует действенных методов расчета этих величин.

На данный момент наиболее распространенным методом расчета эффективного коэффициента распределения водорода для любых его содержаний в металле является применение теории Бартона-Прима-Слихтера (БПС) [8]:

$$\kappa = \frac{\kappa_0}{\kappa_0 + (1-\kappa_0) \exp(-v_{кр} \delta / D_H)}, \quad (6)$$

где δ - толщина обогащенного водородом пограничного диффузионного слоя на межфазной границе, см.

Существует несколько способов расчета толщины диффузионного слоя δ , однако они не универсальны и пригодны только в частных конкретных условиях роста кристаллов и перемешивания жидкой фазы. Согласно обобщению различных экспериментальных данных, проведенному в работе [9], толщина обогащенного водородом диффузионного слоя составляет величину порядка 10^{-2} - 10^{-3} см.

Учитывая значительные сложности при применении уравнения БПС для расчета эффективного коэффициента распределения водорода, некоторые исследователи [10] предлагают определять κ из формулы для определения изменения концентрации водорода в оставшемся расплаве (уравнения Шейла):

$$[H]_{об} = [H]_0 \frac{(1-\chi)^{\kappa}}{1-\chi}, \quad (7)$$

где χ - доля закристаллизованного металла.

Несмотря на то, что уравнение (7) может применяться для любой формы межфазной границы и для любой скорости кристаллизации, в том числе и переменной, его использование требует знания $[H]_{об}$ на любой стадии затвердевания, что фактически приводит к экспериментальному определению эффективного коэффициента распределения водорода.

В заключение анализа, существующих способов расчета эффективного коэффициента распределения

водорода в алюминии и его сплавах следует отметить, что в случае когда $[H]_0 \leq [H]_{me}$ невозможно определить κ по казалось простой формуле:

$$\kappa = \frac{[H]_s}{[H]_{об}}, \quad (8)$$

так как при кристаллизации происходит изменение концентрации водорода, как в жидкой (уравнение (7)), так и в твердой фазах:

$$[H]_s \neq [H]_0 \frac{(1-\chi)^\kappa}{1-\chi} \quad (9)$$

Но в случае алюминия и его сплавов, уравнение (8) значительно упрощается, так как $[H]_0 > [H]_{me}$ и поэтому при кристаллизации отливки концентрация водорода в твердой фазе ($[H]_s$) практически сразу становится постоянной и равной его растворимости в твердом металле $[H]_{me}$. В этих условиях эффективный коэффициент распределения водорода зависит от одной переменной:

$$\kappa = \frac{[H]_{me}}{[H]_{об}}. \quad (10)$$

Итак, для расчета по уравнению (10) необходимо знать как изменяется концентрация водорода в объеме расплава по мере затвердевания отливки (кривая EF, рис. 1, б). При этом совместное использование формул (7) и (10) является крайне нежелательным, так как получается уравнение решение которого возможно получить только приближенными методами. Поэтому крайне желательно иметь более приемлемое выражение для расчета $[H]_{об}$, чем уравнение (7) полученное аналитическим путем Шейлом, Пфанном [10] и другими исследователями.

Если при кристаллизации алюминия и его сплавов не происходит выделения газовых пузырей, тогда, пренебрегая избытком водорода в диффузионном слое и его недостатком в наружной корке отливки, учитывая их очень малую толщину и то, что эти величины практически компенсируют друг друга, можно записать балансовое уравнение для перераспределения водорода:

$$\chi [H]_{me} + (1-\chi)[H]_{об} = [H]_0. \quad (11)$$

Отсюда

$$[H]_{об} = \frac{[H]_0 - \chi [H]_{me}}{1-\chi}, \quad (12)$$

Выражение (12) позволяет легко рассчитывать, как изменяется концентрация водорода в объеме расплава по мере затвердевания отливки. Используя начальное значение эффективного коэффициента распределения водорода ($\kappa_n = \frac{[H]_{me}}{[H]_0}$), перепишем выражение (12) в виде:

$$[H]_{об} = [H]_0 \frac{1-\chi \kappa_n}{1-\chi}. \quad (13)$$

Уравнение (13) по внешнему виду похоже на соответствующее классическое уравнение теории сегрегации (7), но значительно удобнее, так как, во-первых,

эффективный коэффициент распределения не входит в степень и, во-вторых, его значение постоянно, а не колеблется в пределах от κ_n до κ_0 .

На основании уравнений (10) и (12) можно получить формулу для расчета текущего эффективного коэффициента распределения водорода при кристаллизации отливки из алюминия и его сплавов, содержащей в исходном состоянии водорода более его растворимости в твердом металле:

$$\kappa = \frac{[H]_{me}}{[H]_{об}} = \frac{[H]_{me} (1-\chi)}{[H]_0 - \chi [H]_{me}}. \quad (14)$$

Иногда удобнее определять текущий эффективный коэффициент распределения водорода через его начальное значение:

$$\kappa = \kappa_n \frac{1-\chi}{1-\chi \kappa_n}. \quad (15)$$

Как видно из уравнения (15), эффективный коэффициент распределения водорода зависит от своего начального значения и уменьшается пропорционально доли закристаллизовавшегося металла.

Подставляя в уравнение (5) выражения (13) и (14), можно получить формулу для расчета текущей концентрации водорода на межфазной границе в процессе затвердевания (кривая GH, рис. 1, б):

$$[H]_{ф.к.} = \frac{([H]_0 - \chi [H]_{me})^2}{(1-\chi)^2 [H]_{me}}. \quad (16)$$

Как следует из уравнений (5), (13), (14) и (15), по мере затвердевания отливки эффективный коэффициент распределения водорода будет уменьшаться, а концентрация водорода в объеме расплава и на фронте кристаллизации - увеличиваться, причем $[H]_{ф.к.}$ увеличивается пропорционально квадрату изменения $[H]_{об}$.

Для полного анализа поведения водорода на фронте кристаллизации при затвердевании отливок из алюминия и его сплавов, необходимо знать еще три важные величины [9]: толщину диффузионного обогащенного водородом слоя (δ), коэффициент массопереноса водорода (β) и критерий Стэнтона (St).

Толщина диффузионного слоя показывает размеры концентрационного уплотнения $[H]_{(x)}$ в расплаве на фронте кристаллизации, описываемого уравнениями (3) и (4), (см. рис. 1). А коэффициент массопереноса характеризует линейную скорость отвода водорода от межфазной границы вглубь расплава:

$$\beta = \frac{D_H}{\delta}. \quad (17)$$

Зная β можно определить как быстро изменяется концентрация водорода на фронте кристаллизации из-за диффузионного потока, отводящего водород вглубь расплава:

$$\frac{d[H]}{d\tau} = \beta \frac{S_{ф.к.}}{V} ([H]_{ф.к.} - [H]_{об}), \quad (18)$$

где $S_{ф.к.}$ - поверхность фронта кристаллизации, см²;
 V - объем расплава, см³.

Критерий Стэнтона показывает, насколько отвод водорода опережает движущийся в том же направлении фронт кристаллизации:

$$St = \frac{\beta}{v_{кр}} = \frac{D_H}{\delta v_{кр}}. \quad (19)$$

Очевидно, если $St > 1$, то водород успевает уйти в маточный раствор и граница фаз будет при своем движении вглубь расплава оттеснять водород. Если $St < 1$, то движение фронта кристаллизации опережает отвод водорода и он обогащает жидкую фазу, прилегающую к фронту затвердевания.

Коэффициент массопереноса и критерий Стэнтона являются функциями толщины диффузионного слоя, которая изменяется в процессе кристаллизации, и для их расчета по уравнениям (17) и (19) необходимо уметь определять δ на любой стадии затвердевания. Однако, как было показано выше, имеются значительные сложности при определении δ стандартными путями. Поэтому мы для ее расчета используем другой способ, основанный на определении текущего критерия Стэнтона или других параметров, используя теорию БПС [8]. Если сравнить выражения (6) и (19) видно, что критерий Стэнтона представляет собой величину обратную безразмерной (нормализованной) скорости роста из формулы БПС. Тогда, подставляя уравнение (19) в (6), учитывая (10) и то, что $\kappa_0 = [H]_{мс} / [H]_{жс}$, имеем:

$$St = \frac{1}{\ln\left(\frac{1-\kappa_0}{\kappa_0/\kappa-\kappa_0}\right)} = \frac{1}{\ln\left(\frac{[H]_{жс} - [H]_{мс}}{[H]_{об} - [H]_{мс}}\right)}. \quad (20)$$

Подставляя в выражение (20) уравнение (12) получим окончательную формулу для определения критерия Стэнтона в любой момент времени затвердевания отливки, если не происходит выделения водорода в газовые пузыри:

$$St = \frac{1}{\ln\left((1-\chi) \frac{[H]_{жс} - [H]_{мс}}{[H]_0 - [H]_{мс}}\right)}. \quad (21)$$

На основании выражения (21) можно установить следующую закономерность: чем больше доля закристаллизовавшегося металла, тем больше критерий Стэнтона. При этом в начале затвердевания, когда доля закристаллизовавшегося металла мала, критерий Стэнтона для водорода будет меньше единицы и поэтому в пограничном диффузионном слое создается градиент концентрации водорода, описываемый уравнениями (3) и (4). Затем при увеличении χ критерий Стэнтона превышает единицу и водород начинает диффундировать вглубь расплава.

Теперь из уравнений (17), (18) и (21) получим формулы для расчета текущего значения коэффициента массопереноса водорода и толщины пограничного диффузионного слоя, обогащенного водородом:

$$\beta = v_{кр} St = \frac{v_{кр}}{\ln\left((1-\chi) \frac{[H]_{жс} - [H]_{мс}}{[H]_0 - [H]_{мс}}\right)}, \quad (22)$$

$$\delta = \frac{D_H}{\beta} = \frac{D_H}{v_{кр}} \ln\left((1-\chi) \frac{[H]_{жс} - [H]_{мс}}{[H]_0 - [H]_{мс}}\right). \quad (23)$$

При начале газообразования, весь избыточный водород, выделившийся при затвердевании, удаляется из расплава на фронте кристаллизации в газовые пузыри, поэтому диффузионный поток, отводящий водород вглубь жидкой фазы прекращается. Таким образом, из уравнений (18) и (19) следует, что при газообразовании коэффициент массопереноса и критерий Стэнтона становятся равными 0.

В заключение следует отметить еще одно перераспределение водорода, вызванное градиентом концентраций от $\frac{[H]_{мс}}{[H]_{жс}} [H]_0$ до $[H]_{мс}$ в наружной корке

слитка. Учитывая, что в приповерхностном, обедненном водородом, слое во время затвердевания сохраняется относительно высокая температура и что его толщина очень мала (меньше 0,1 мм), то к концу кристаллизации за счет диффузии водорода и постоянного его избытка в расплаве, прилегающего к межфазной границе концентрация водорода в твердой фазе должна выровняться и стать равной $[H]_{мс}$. Принимая во внимание, что коэффициенты диффузии водорода в твердом алюминии намного меньше, чем в жидкой фазе, поэтому при рассмотрении процессов перераспределения водорода на фронте кристаллизации мы пренебрегли диффузионным потоком в твердой фазе.

Выводы. В результате проведенных исследований:

1. Получены выражения для расчета текущих значений в процессе затвердевания концентраций водорода в пограничном диффузионном слое, на фронте кристаллизации, в объеме оставшегося расплава, эффективного коэффициента распределения водорода, толщины пограничного диффузионного слоя, коэффициента массопереноса водорода, критерия Стэнтона.
2. Разработанные теоретические основы процесса перераспределения водорода между фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов позволяют анализировать поведение при затвердевании любой примеси, когда ее исходное содержание в расплаве превышает предел растворимости в твердой фазе.
3. Результаты работы можно применять на практике с целью оптимизации технологического процесса и более эффективного использования дорогостоящего оборудования для получения качественных отливок из алюминия и его сплавов.

Список литературы: 1. *Нестеренко, Т. М.* Виробництво алюмінієвих сплавів з рудної та вторинної сировини: навчальний посібник [Текст] / Т. М. Нестеренко, О. М. Нестеренко, Г. О. Колобов, В. П. Грицай. – К.: Вища школа, 2007. – 207 с. 2. *Фомин, Б. А.* Металлургия вторичного алюминия: монография [Текст] / Б. А. Фомин, В. И. Москвитин, С. В. Махов. – М.: ЭКОМЕТ, 2004. – 240 с. 3. *Напалков, В. И.* Физико-химические процессы рафинирования алюминия и его сплавов: монография [Текст] / В. И. Напалков, С. В. Махов, Б. Л. Бобрышев, С. М. Моисеев. – М.: Теплотехник, 2011. – 490 с. 4. *Хрычиков, В. Е.* Литейное производство черных и цветных металлов: Учебное пособие [Текст] / В. Е. Хрычиков, Е. В. Меняйло. – Днепропетровск: НМетАУ, 2010. – 89 с. 5. *Мазур, В. И.* Введение в теорию сплавов: монография [Текст] / В. И. Мазур, А. В. Мазур. – Днепропетровск: Лира ЛТД, 2009. – 264 с. 6. *Tiller, W. A.* The Redistribution of Solute Atoms During the Solidification of Metals [Text] / W. A. Tiller, K. A. Jackson, J. W. Rutter, B. Chalmers // Acta Metallurgica. –

1953. – Vol. 1. – P. 428–437. **7. Флемінгс, М. С.** Процессы затвердевания: Пер. с англ. [Текст] / М. С. Флемінгс. – М.: Мир, 1977. – 423 с. **8. Burton, J. A.** The Distribution of Solute in Crystals Grown from the Melt. I. Theoretical [Текст] / J. A. Burton, R. C. Prim, F. P. Slichter // Journal of Chemical Physics. – Vol. 21, Nov. 1953. – P. 1987–1994. **9. Лакомский, В. И.** Взаимодействие диатомных газов с жидкими металлами при высоких температурах: монография [Текст] / В. И. Лакомский. – К.: Наукова думка, 1992. – 231 с. **10. Пфани, В. Д.** Перераспределение растворимых примесей при кристаллизации [Текст] / В. Д. Пфани // Сб. "Жидкие металлы и их затвердевание": Пер. с англ. – М.: Металлургиздат, 1962. – С. 248–272.

Bibliography (transliterated): **1. Nesterenko, T. M., Nesterenko, O. M., Kolobov, H. O., Hrytsai, V. P.** (2007). Vyrobnnytstvo aliuminiievkykh spлавiv z rudnoi ta vtorynnoi syrovynny: navchalnyi posibnyk. Kiev: Vyshcha shkola, 207. **2. Fomyn, B. A., Moskvytyn, V. Y., Makhov, S. V.** (2004). Metallurhiya vtorynnoho aliumyniia: monohrafyia. Moscow: ЕКОМЕТ, 240. **3. Napalkov, V. Y., Makhov, S. V., Bobryshev, B. L.,**

Moyshev, S. M. (2011). Fyzyko-khymycheskye protsessy rafynirovaniya aliumyniia y eho spлавov: monohrafyia. Moscow: Teplotekhnnyk, 490. **4. Khrychykov, V. E., Meniailo, E. V.** (2010). Lyteinoe proyzvodstvo chernykh y tsvetnykh metallo: Uchebnoe posobyе. Dnepropetrovsk: NMetAU, 89. **5. Mazur, V. Y., Mazur, A. V.** (2009). Vvedenye v teoriyu spлавov: monohrafyia. Dnepropetrovsk: Lyra LTD, 264. **6. Tiller, W. A., Jackson, K. A., Rutter, J. W., Chalmers, B.** (1953). The Redistribution of Solute Atoms During the Solidification of Metals. Acta Metallurgica, Vol. 1, 428–437. **7. Flemynhs, M. S.** (1977). Protssy zatverdevaniya: Per. s anhl. Moscow: Myr, 423. **8. Burton, J. A., Prim, R. C., Slichter, F. P.** (1953). The Distribution of Solute in Crystals Grown from the Melt. I. Theoretical. Journal of Chemical Physics, Vol. 21, No. 1953, 1987–1994. **9. Lakomskyi, V. Y.** (1992). Vzaymodeistvyе dyatomnykh hazov s zhydkymy metallamy pry vysokykh temperaturakh: monohrafyia. Kiev: Naukova dumka, 231. **10. Pfann, V. D.** (1962). Pereraspredelenye rastvorymykh pryemsei pry krystallyzatsyy. Sb. "Zhydkye metalli y ykh zatverdevaniye": Per. s anhl. Moscow: Metallurhyzdat, 248–272.

Надійшла (received) 16.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Трегубенко Геннадій Николаевич – доктор технічних наук, Національна металургічна академія України, професор кафедри Електрометалургії, пр. Гагарина, 4, г. Дніпропетровськ, Україна, 49600.

Трегубенко Геннадій Миколайович – доктор технічних наук, Національна металургічна академія України, професор кафедри Електрометалургії, пр. Гагарина, 4, м. Дніпропетровськ, Україна, 49600.

Tregubenko Gennady – Doctor of Technical Sciences, National Metallurgical Academy of Ukraine, professor of Electrometallurgy, Gagarin ave., 4, Dnepropetrovsk, Ukraine, 49600.

УДК 546.72.76.46:54-36

А. В. ЛУЦАСЬ, І. П. ЯРЕМІЙ, М. П. МАТКІВСЬКИЙ, С. І. ЯРЕМІЙ

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТІВ СУМІСНОГО ОСАДЖЕННЯ МАГНІЙ, ФЕРУМ ТА ХРОМ ГІДРОКСИДІВ І ПРОДУКТІВ ЇХ ТЕРМІЧНОГО РОЗКЛАДУ

З водних розчинів відповідних хлоридів синтезовано ферит-хроміти магнію системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$. Показано, що шляхом співосадження утворюється гомогенна, реакційно здатна фаза гідроксидів з високим значенням питомої поверхні, величина якої збільшується з підвищенням вмісту хрому в системі. Частки продуктів сумісного осадження мають губчасту форму, а в спечених феритах характеризуються неправильною формою та значною кількістю як дуже великих, так і дуже малих часток. Колір співосаджених гідроксидів монотонно змінюється від сіро-голубого до коричневого, а порошоків-феритів від гірчичного до червоно-коричневого по мірі збільшення вмісту феруму.

Ключові слова: ферит, магнію ферит-хроміти, шпінель, магнію заліза хрому гідроксиди, метод осадження, питома поверхня.

Вступ. Шпінельні тверді розчини на основі феритів і хромітів володіють великим спектром технологічних властивостей і використовуються в якості магнітних, ізоляційних матеріалів, а також як каталізатори хімічних процесів. В літературі приділяється велика увага вивченню властивостей речовини в нанорозмірних системах та оптимізації процесу одержання шпінелей з великою питомою поверхнею і заданими властивостями [1-9].

Магнію ферит-хроміти є основою для створення перспективних і високотехнологічних феритових матеріалів довгохвильової частини НВЧ-діапазону [10-12], у зв'язку з чим закономірності їх формування залишаються об'єктом всестороннього вивчення. Чутливість властивостей НВЧ-феритів до залишкових хімічних неоднорідностей [13] спонукає до вивчення фізико-хімічних характеристик феритів, одержаних різними методами.

Досягти високої хімічної однорідності феритів можна за допомогою методу сумісного осадження гідроксидів металів. Крім того, цей метод зазвичай дає можливість суттєво скоротити час термообробки та знизити температуру процесу феритизації.

Проте, технологічно контрольовані властивості систем, отриманих таким методом, відрізняються від властивостей феритів, синтезованих традиційним керамічним методом.

Таким чином, метою даної роботи було визначення питомої поверхні продуктів сумісного осадження гідроксидів та одержаних з них магнію ферит-хромітів.

Отримання та аналіз сумісного осадження гідроксидів. Для дослідження було синтезовано ряд ферит-хромітів магнію із загальною формулою $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$, де $x = 0,8; 1,2; 1,6$ [14, 15].

Аналіз отриманих зразків проводився на X-променевому флуоресцентному спектрометрі ARL 9800 та дифрактометрі ДРОН-3. Флуоресцентний аналіз показав, що в зразках наявні тільки метали Mg , Fe та Cr . Методом X-променевого структурного аналізу встановлено, що отримані порошки (продукт сумісного осадження магнію, ферум та хром гідроксидів системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4 \times nH_2O$) є настільки дрібнокристалічними, що класичної дифрактограми з

інтенсивними рефлексами від них практично не одержується, і їх можна вважати аморфними з погляду X-променевого аналізу.

Зазначений структурний стан та низька, порівняно з твердофазним синтезом, температура формування шпінельної фази вказують на те, що співосаджені гідроксиди вже не можна розглядати як просту суміш речовин. Літературні [16] та одержані нами експериментальні дані, такі як формування кристалічних фаз із структурною близькою до шпінелі в процесі осадження, принципова різниця перебігу процесів термічного розкладу співосаджених гідроксидів та механічних сумішей оксидів, підтверджують наявність хімічної взаємодії гідроксидів при співосадженні. Можна припустити, що будова хімічної сполуки, яка утворюється при сумісному осадженні магній, ферум та хром гідроксидів, характеризується полімерною матрицею, в якій хром(III)-йони поступово замінюватимуться на ферум(III)-йони, за рахунок чого зв'язки полімерної матриці із підвищенням вмісту феруму ставатимуть слабші, і, як наслідок, знижуватиметься температура шпінелеутворення.

За допомогою наведеної моделі продукту співосадження можна пояснити низькотемпературне утворення шпінелей при термічному розкладі співосаджених гідроксидів. В такій сполуці магній, ферум та хром гідроксиди добре контактують між собою, що полегшує формування кристалічної ґратки фериту та унеможливує утворення часток оксидів MgO , Fe_2O_3 та Cr_2O_3 . Особливо сприятливими мають бути умови для утворення феритової фази безпосередньо при дегідратації співосаджених гідроксидів, якщо їх склад близький до складу фериту, оскільки за такої умови ґратка фериту може виникнути в результаті незначного зсуву йонів. Якщо ж система містить надлишкову кількість йонів магнію, феруму чи хрому порівняно із складом фериту, середня відстань, на яку дифундують йони металу та оксид-йони в процесі утворення кристалів, збільшується, а утворення фериту, відповідно, утруднюється. Це підтверджується також результатами структурного аналізу синтезованих за аналогічних умов зразків нестехіометричного складу, в яких фериту тільки близько 10 %, а решта – оксиди.

Таким чином, у випадку одержання магній ферит-хромітів методом гідроокисного співосадження швидкість процесу формування шпінельної фази сильно зростає не тільки через високу активність вихідної сполуки, чому сприяють такі чинники, як

неоднакова хімічна (кислото-основна) природа, недосконалість структури та її висока дисперсність, шарувата ґратка та наявність в ній молекул міжшарової води, що полегшує дифузію катіонів, а також внаслідок того, що співосаджені гідроксиди являють собою проміжні продукти синтезу кінцевих феритних фаз, і їх можна розглядати як попередників останніх. Аморфність гідроксидів з погляду X-променевого аналізу пов'язана з хаотичним розташуванням різних за довжиною полімерних ланцюгів та малими лінійними розмірами зазначених вище ділянок полімерної матриці.

Описана структура осаджених гідроксидів проявляється у дисперсності частинок та значній питомій поверхні зазначеного матеріалу. Питому поверхню співосаджених гідроксидів вимірювали методом адсорбції азоту при температурі рідкого азоту і подальшому розрахунку питомої поверхні по методу БЕТ. Встановлено, що в зразках (продуктах сумісного осадження гідроксидів) вільна поверхня становить близько 130-170 m^2/g , а заміщення іонів хрому іонами феруму приводить до деякого зменшення величини вільної поверхні (рис. 1).

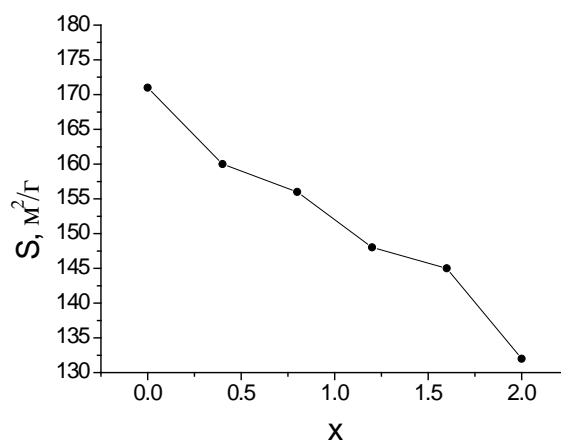


Рис. 1 – Залежність величини вільної поверхні продуктів сумісного осадження гідроксидів від вмісту феруму x .

Форму часток зразків-продуктів сумісного осадження та їх гранулометричний склад видно з мікрофотографій (рис. 2, а-д). Зокрема, добре видно, що вони на рахунок вище описаної специфіки будови та агломерації мають губчасту форму, а також фази двох кольорів.

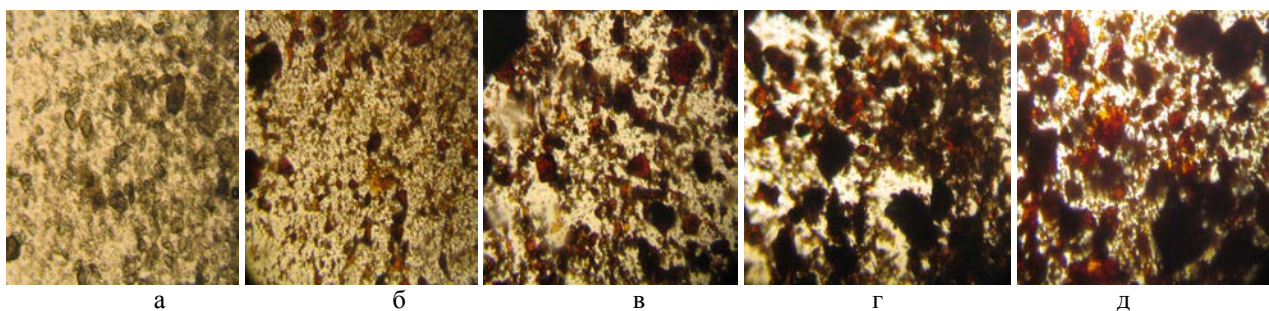


Рис. 2 – Мікрофотографії зразків-продуктів сумісного осадження гідроксидів магнію, феруму та хрому системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4 \cdot nH_2O$: а - $x=0$; б - $x=0,8$; в - $x=1,2$; г - $x=1,6$; д - $x=2$

Аналіз ферит-шпінелей, отриманих із сумісного осадження гідроксидів. Продукти сумісного осадження гідроксидів магнію, феруму та хрому системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4 \cdot nH_2O$ спікали при 1273°K протягом 4 год. з наступним загартовуванням на повітрі.

Аналіз отриманих зразків проводився на X-променевому дифрактометрі ДРОН-3 з використанням *Cu* аноду та флуоресцентному спектрометрі ARL 9800, в якому є вбудований дифрактометр та використовувалися *Rh* та *Mo* аноди. В даному приладі інтегровані два методи: X-променеві флуоресцентний та дифракційний аналіз (рис. 3, а), що давало можливість легко визначити як хімічний так і фазовий склад. До отриманих на установці ARL 9800 дифрактограм можна використати повнопрофільний аналіз за методом Рітвельда, якісний і кількісний аналіз, визначення розміру блоків, аналіз текстури та залишкових напруг і т.п.

Якісний фазовий аналіз зразків показав, що вони у всьому діапазоні заміщень є однофазними. На дифрактограмах спечених зразків, з ростом ступеня заміщення ферумом *x* спостерігається зміщення піків, що пов'язано з ростом сталої ґратки від 0,833 нм до 0,838 нм і пояснюється входженням внаслідок заміщення у кристалічну ґратку іонів феруму з більшим іонним радіусом (рис. 3, а, б).

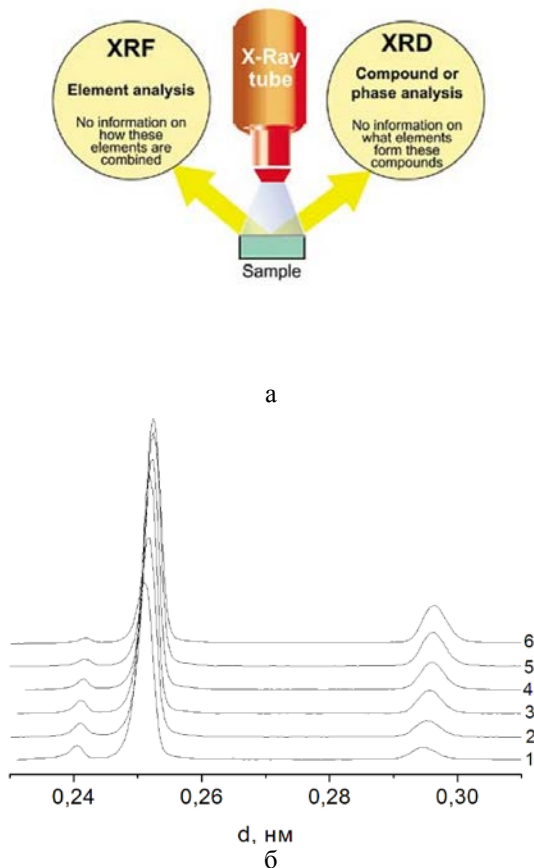


Рис. 3 – Схема роботи установки ARL 9800 (а), та фрагменти отриманих з її допомогою дифрактограм одержаних зразків шпінелі $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$ (б): 1 - $x=0$; 2 - $x=0,4$; 3 - $x=0,8$; 4 - $x=1,2$; 5 - $x=1,6$; 6 - $x=2$

Підвищення температури розкладу твердих розчинів гідроксидів від ≈ 383 К супроводжується різким зменшенням питомої поверхні, яка при 1273 К скла-

дає тільки менше десяти відсотків від величини поверхні, що відповідає не спеченим продуктам сумісного осадження (рис. 4). Таким чином, «гідроксидні» матеріали мають велику питому поверхню (та пов'язану з нею надлишкову вільну енергію) тільки при низьких температурах (573-873 К). Варто зауважити, що спікання не змінило загальної тенденції, яка полягає в тому, що питома поверхня як співосаджених гідроксидів, так і спечених шпінелей є більшою у зразках із меншим вмістом феруму.

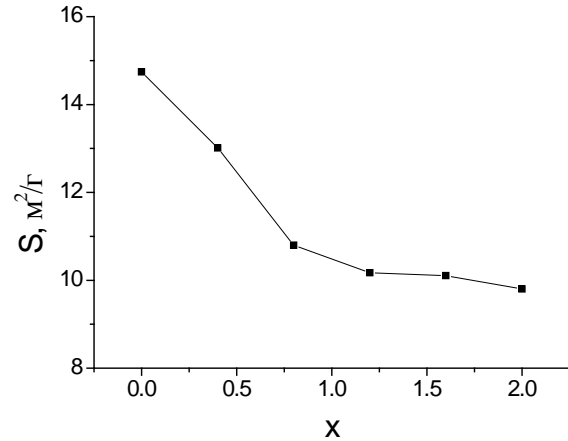


Рис. 4 – Залежність величини вільної поверхні феритів системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$, одержаних методом гідроксидно-го співосадження, від вмісту феруму *x*.

З ростом ступеня заміщення ферумом *x* на дифрактограмах спечених зразків спостерігається зменшення інтегральної ширини головних брегівських піків (рис. 5), що пов'язано із зменшенням дисперсності порошоків.

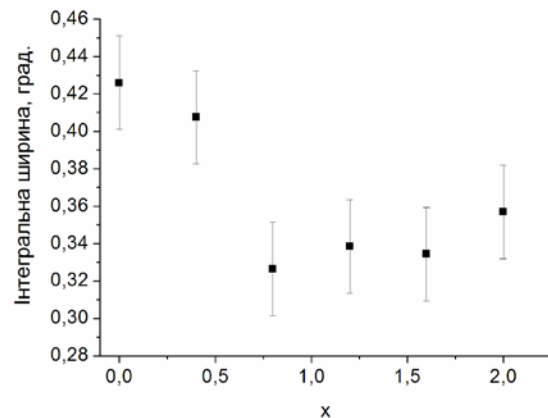


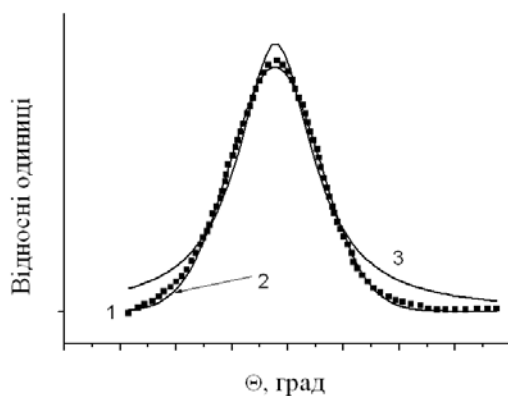
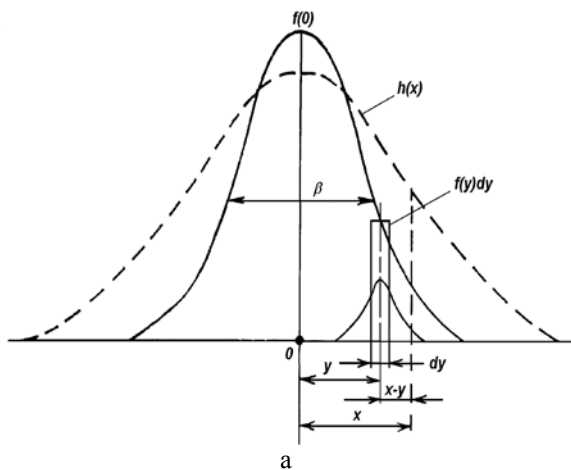
Рис. 5 – Зміна інтегральної півширини лінії (311) в залежності від вмісту феруму *x*

Як відомо, форма лінії досліджуваного зразка визначається фізичним (дифракційним) і геометричним (інструментальним) уширенням. Вплив обох факторів є неадитивним, оскільки кожна ділянка кривої істинного дифракційного уширення під впливом геометричних умов зйомки розвивається за однаковим законом $g(y)$. Результуюча крива розподілу інтенсивності $h(x)$ виражається інтегральним співвідношенням (згорткою):

$$h(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(y)g(x-y)dy, \quad (1)$$

де $f(x)$ – функція істинного дифракційного уширення, обумовлена фізичним станом зразка, $h(x)$ і $g(y)$ – функції розподілу інтенсивності для досліджуваного та еталонного зразка відповідно. Схематично розмиття кривої фізичного уширення $f(x)$ в результаті симетричного уширення представлено на рис 6. Функція $g(y)$ знаходиться шляхом знімання КДВ від ідеального монокристалу, в якому фізичні фактори є несуттєві. Позначивши через B , β і b інтегральні ширини кривих $h(x)$, $g(x)$ і $f(x)$ і апроксимуючи функції $g(x)$ і $f(x)$ у вигляді функції Лоренца або Коші $1/(1+\alpha x^2)$ одержується співвідношення $B = \beta + b$, а якщо краще підходить функція Гаусса, то $B^2 = \beta^2 + b^2$ [17].

Для точнішого виділення кривої істинного дифракційного уширення використовувався метод Стокса [18]. Визначена з використанням методу Стокса крива істинного дифракційного уширення для піка, що відповідає міжплосинній відстані 0,296 нм була наближена функціями Лоренца та Гаусса. Як видно з рис. 6, а, б, наближення функцією Гаусса є значно кращим, тому використовувалися квадратичні формули.



б

Рис. 6 – Розмиття кривої фізичного уширення $f(x)$ в результаті: а – геометричного уширення; б – апроксимація кривої істинного дифракційного уширення

Під уширенням, обумовленим фізичним станом зразка, розуміється уширення лінії пов'язане з дефектами кристалічної структури II класу (за М. А. Кривоглазом). Ці дефекти, дислокації та їх сукупності характеризуються дальнодіючими полями зміщень атомів з вузлів кристалічної ґратки. У випадку, коли уширення дифракційної лінії спричинене лише мікронапругами, інтегральна ширина лінії визначається як $n = 4\varepsilon \operatorname{tg} \theta$, де ε – середнє значення модуля відносної деформації; коли уширення спричинене тільки розмірами кристалів чи блоків – інтегральна ширина $m = 0,94\lambda / L \cos \theta$ (формула Шеррера), де L – середній лінійний розмір областей когерентного розсіювання в напрямі нормалі до відбиваючої площини. Коли уширення викликане одночасним впливом мікронапруг і областей когерентного розсіювання, то, у випадку наближення функцією Лоренца або Коші, інтегральна ширина $b = n + m$, а у випадку наближення функцією Гаусса – $b^2 = n^2 + m^2$.

Для підвищення точності визначення параметрів порошків також використовувався інтерполяційний методом Вільямсона-Холла, згідно якого будувалася залежність $\beta \cos \theta$ від $\sin \theta$ рівняння

$$\beta \cos \theta = \frac{\lambda}{D} + 4\varepsilon \sin \theta \quad (\text{якщо наближення проводилось}$$

функціями Лоренца або Коші) або рівняння

$$\beta^2 \cos^2 \theta = \left(\frac{\lambda}{D}\right)^2 + (4\varepsilon \sin \theta)^2 \quad (\text{якщо наближення}$$

здійснювалося функцією Гаусса). Якщо лінійно апроксимувати отриману залежність, то кут нахилу прямої буде пропорційний величині мікронапруг (ε чи ε^2), а перетин прямої з віссю ординат – величину, обернено пропорційну розміру блоків (D чи D^2).

Як показали розрахунки, апроксимаційна пряма на графіку лежить майже горизонтально, тому мікронапругами в матеріалі нехтувалося, і вважалося, що фізичне уширення пов'язане тільки з розмірами кристалів. Це допущення є обґрунтованим, бо досліджувані зразки в процесі виготовлення проходили відповідну термообробку (спікання). Провівши відповідні розрахунки як за методом Шеррера, так і за методом Вільямсона-Холла, було визначено середній розмір блоків L , залежність якого від вмісту феруму представлена на рис. 7. При розрахунку за формулою Шеррера була невелика відмінність (до 10 %) в розмірах блоків із результатами методу Вільямсона-Холла, що зумовлено тим, що у першому випадку до розрахунку бралися окремі піки, а метод Вільямсона-Холла враховує всі рефлекси.

Якщо вважати, що частинки спеченої фази мають сферичну форму, то середній діаметр частинок d_c і питома поверхня S_n пов'язані співвідношенням $d_c = \frac{6}{\rho S_n}$, де ρ – густина шпінелі. Вважаючи, що

частки шпінелі складаються з одного блоку, тобто $d_c = L$, було теоретично розраховано питому поверхню, залежність якої від вмісту феруму представлено на рис. 8 (крива б). Як бачимо, значення питомої поверхні, визначеної хроматографічним методом в діапазоні $x=0,6 \div 1,6$ практично співпадає з теоретично розрахо-

ваними значеннями, тобто частки дійсно складаються з одного блоку. Значення теоретично розрахованої питомої поверхні в діапазонах $x < 0,6$ та $x > 1,6$ вказує на те, що частина часток складається як мінімум з двох блоків.

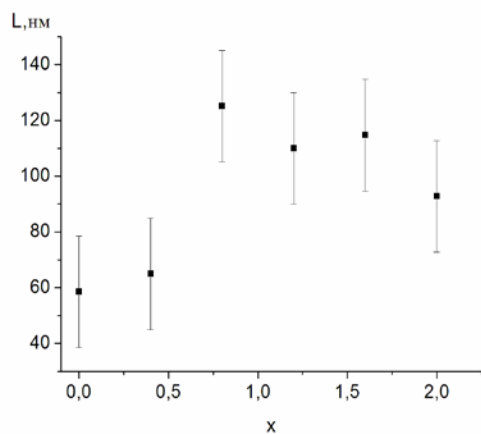


Рис. 7 – Розмір блоків у феритах системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$ в залежності від вмісту феруму.

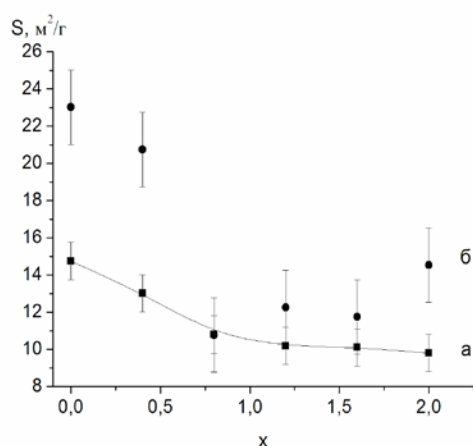
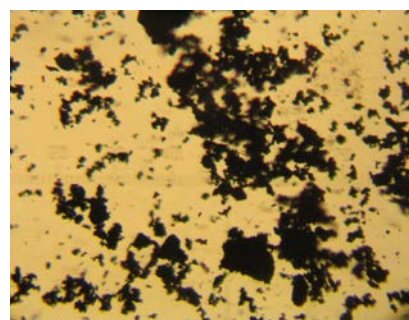


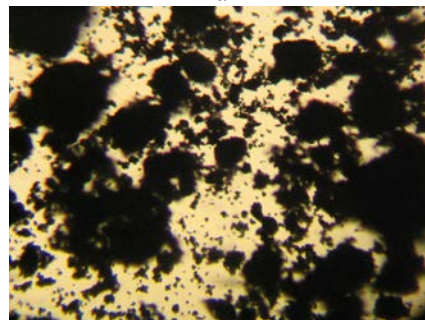
Рис. 8 – Залежність поверхні спечених феритів системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$, визначеної хроматографічним методом (крива а) та теоретично розрахованої за середніми розмірами блоків (крива б) залежності від вмісту феруму.

Дані поляризаційно-інтерференційної мікроскопії (збільшення в 480 разів) свідчать про те, що ферити одержані методом гідроокисного співосадження при мінімальних температурах формування шпінелі (573-873°K), мають надзвичайно малий розмір часток (0,01-0,2 мк) без чітко вираженої кристалічної огранки, які характеризуються неправильною формою та схильні до утворення агрегатів (рис. 9).

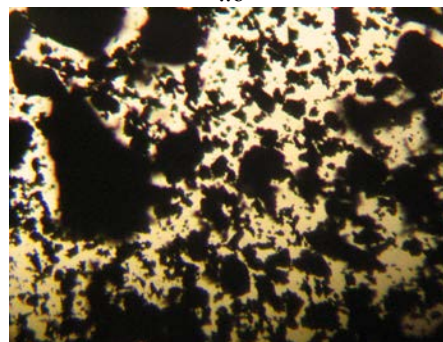
Підвищення температури обробки до 1273°K супроводжується різким збільшенням розміру часток до 5-10 мк. Однак поряд з крупними частками в значній кількості залишаються частки розміром $\approx 0,005-0,01$ мкм [19]. Порівняння одержаних різними методами даних про розмір часток, ще раз підтверджує, що гранулометричний склад часток спечених ферит-шпінелей є дуже неоднорідним.



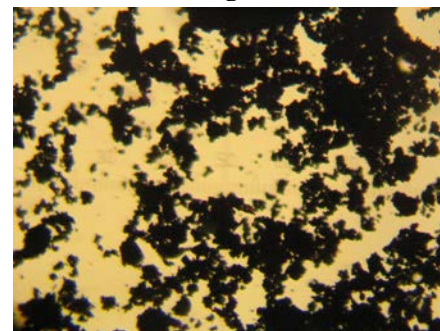
а



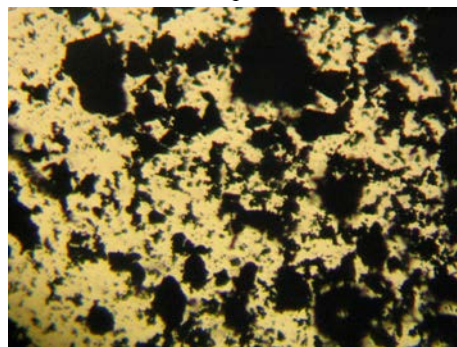
..б



в



г



д

Рис. 9 – Мікрофотографії зразків-феритів системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$ одержаних методом гідроокисного співосадження: а - $x = 0$; б - $x = 0,4$; в - $x = 0,8$; г - $x = 1,2$; д - $x = 1,6$

Це явище можна пояснити тим, що процес розкладу термічно нестабільних гідроксидів відбувається в максимально нерівноважних умовах та призводить до утворення максимально нерівноважного продукту з великою дисперсністю. Більш того, енергетична нерівноцінність окремих часток, якої не уникнути в нерівноважних умовах формування фази, сприяє агрегації найбільш активних з них з утворенням порошкоподібної фази, що складається з дуже великих часток (результат взаємодії часток, що володіють в момент формування шпінелі максимальною активністю поверхні) і дуже дрібних часток з числа найменш активних в момент розкладу [19].

Висновки. Таким чином, проведене дослідження показало, що поверхня сумісно осаджених гідроксидів ($171 \div 132,9 \text{ м}^2/\text{г}$) та спечених при температурі 1273°K ферит-хромітів ($14,3 \div 9,8 \text{ м}^2/\text{г}$) в системі $\text{Mg}(\text{Fe}_x\text{Cr}_{2-x})\text{O}_4$ ($0 \leq x \leq 2$) збільшується з підвищенням вмісту хрому в системі.

Розміри блоків у зразках отриманих методом гідроокисного співосадження знаходяться в межах 50–130 нм.

В діапазоні $x=0,6 \div 1,6$ частки спечених феритів складаються практично з одного блоку, тоді як в діапазонах $x < 0,6$ та $x > 1,6$ частина часток складається з двох чи більше блоків.

Частки зразків-продуктів сумісного осадження за рахунок наявності полімерних ланцюгів та полімерної матриці мають губчасту форму. В спечених феритах частки характеризуються неправильною формою та схильні до утворення агрегатів, результатом чого є наявність як дуже великих, так і дуже малих часток неправильної форми.

Також, необхідно відмітити, що колір співосаджених гідроксидів монотонно змінюється від сіро-голубого до коричневого, а порошок-феритів від гірчичного до червоно-коричневого по мірі збільшення вмісту феруму.

Список літератури: 1. Иванов, В. В. Феррит-хромиты переходных элементов: синтез, структура, свойства [Текст] / В. В. Иванов, А. К. Ульянов, Н. П. Шабельская. – М.: Академия естествознания. – 94 с. 2. Шабельская, Н. П. Исследование процессов образования хромитов MCr_2O_4 ($M = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Zn}, \text{Cd}, \text{Mg}$) [Текст] / Н. П. Шабельская, М. В. Таланов, И. Н. Захарченко и др. // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, Вып. 8. – С. 59–62. 3. Шабельская, Н. П. О влиянии природы катиона на процесс синтеза шпинели [Текст] / Н. П. Шабельская, И. Н. Захарченко, А. К. Ульянов // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2014. – Т. 57, Вып. 8. – С. 23–26. 4. Шабельская, Н. П. О механизме образования ферритов-хромитов никеля в ходе топохимического процесса [Текст] / Н. П. Шабельская, И. Н. Захарченко, А. К. Ульянов // Современные наукоемкие технологии. – 2014. – № 3. – С. 150–152. 5. Щепеткин, А. А. Кристаллохимические особенности феррошпинелей систем $\text{Mg}-\text{M}-\text{Fe}-\text{O}$ ($M = \text{Cr}, \text{Al}$) [Текст] / А. А. Щепеткин // Неорганические материалы. – 2004. – Т. 40, № 4. – С. 495–497. 6. Комлев, А. А. Формирование наночастиц железо-магниевого шпинели при дегидратации соосаженных гидроксидов магния и железа [Текст] / А. А. Комлев, С. Илхан // Наносистемы: физика, химия, математика. – 2012. – Т. 3 (4). – С. 114–121. 7. Комлев, А. А. Получение и магнитные свойства нанокристаллических порошков на основе твердых растворов $\text{MgFe}_2\text{O}_4 \cdot n\text{Fe}_2\text{O}_3$ [Текст] / А. А. Комлев // Журнал прикладной химии. – 2014. – Т. 87. – № 11. – С. 1564. 8. El-Sheikh, S. M. Novel low temperature synthesis of spinel nano-magnesium chromites from secondary resources [Text] / El-S.M. Sheikh, M. Rabbah // Thermochimica Acta. – 2013. – V. 568. – P. 13–

19. 9. Pisarska-Piess, B. B. The thermal decomposition of certain metal chromates(VI) [Text] / B. B. Pisarska-Piess, Z. Gontarz // Polish Journal of Chemistry. – 1998. – V. 72. – № 9. – P. 2067–2078. 10. Рабкин, Л. И. Ферриты. Строение, свойства, технология производства. [Текст] / Л. И. Рабкин С. А. Соскин, Б. Ш. Эпштейн; Энергия, 1968. – 384 с. 11. Адаменко, О. М. Кристаллохимические исследования природных хромшпинелидов та їх перетворення при нагріванні [Текст] / О. М. Адаменко, С. С. Лісняк, С. М. Немий; Доповіді НАН України. – 1999. – № 5. – С. 150–153. 12. Ерастова, А. П. Определение катионного распределения и кислородного параметра в системе $\text{MgFe}_{2-y}\text{Cr}_y\text{O}_4$ [Текст]: сб. науч. тр. / А. П. Ерастова, Ю. Г.

Саксонов // Ферриты и бесконтактные элементы. – Минск: Изд-во ак. наук БССР, 1963. – С. 163–175. 13. Третьяков, Ю. Д. Физико-химические основы термической обработки ферритов [Текст] / Ю. Д. Третьяков, Н. Н. Олейников, В. А. Граник. – МГУ, 1973. – 203 с. 14. Битнева, А. В. Феритообразование при термообработке системы гидроксидов магния, железа та хрому [Текст] / А. В. Битнева // Физика і хімія твердого тіла. – 2006. – Т. 7, № 1. – С. 97–101. 15. Пат. 86201 (Україна), МПК С01G 49/00, С01F 5/00. Спосіб одержання ферит-хромітів магнію шляхом сумісного осадження гідроксидів [Текст] / Луцас А. В., Матківський М. П. – Прик. нац. ун-т. – № 200512223. – Заявл. 19.12.05. Опубл. 10.04.2009. – Оф. бюл. "Промислова власність". – № 7. 16. Белоус, А. Г. Ферритообразование при термообработке системы гидроксидов железа, никеля и цинка [Текст] / А. Г. Белоус, Е. В. Пашкова, В. А. Елианский // Укр. хим. журнал. – 2001. – Т. 67, № 1. – С. 11–15. 17. Горелик, С. С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ [Текст] / С. С. Горелик, Ю. А. Скаков, Л. Н. Расторгуев – М.: МИСИС, 1994. – 327 с. 18. Палатник, Л. С. Структура и физические свойства твердых тел [Текст] / Л. С. Палатник – М.: Высшая школа, 1983. 19. Логинова, И. Я. Активное состояние продуктов разложения солей и его влияние на формирование керамической структуры и магнитные свойства ферритов [Текст]: сб. науч. тр. / И. Я. Логинова, Ю. Д. Третьяков // Магнитные и кристаллохимические исследования ферритов. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – С. 239–271.

Bibliography (transliterated): 1. Ivanov, V. V., Ul'janov, A. K., Shabel'skaja, N. P. Ferryt-khromyту perekhodnykh elementov: sintez, struktura, svoystva. Moscow: Akademiya estestvoznaniya, 94. 2. Shabel'skaja, N. P., Talanov, M. V., Zaharchenko, I. N. (2013). Issledovanie processov obrazovaniya khromitov MCr_2O_4 ($M = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Zn}, \text{Cd}, \text{Mg}$). Izvestija vuzov. Khimija i khimicheskaja tekhnologija, 56 (8), 59–62. 3. Shabel'skaja, N. P., Zaharchenko, I. N., Ul'janov, A. K. (2014). O vlijanii prirody kationa na process sinteza shpineli. Izvestija vuzov. Khimija i khimicheskaja tekhnologija, 57 (8), 23–26. 4. Shabel'skaja, N. P., Zaharchenko, I. N., Ul'janov, A. K. (2014). O mekhanizme obrazovaniya ferritov-khromitov nikelja v hode topohimicheskogo processa. Sovremennye naukoemkie tekhnologii, 3, 150–152. 5. Shhepetkin, A. A. (2004). Kristallohimicheskie osobennosti ferroshepinelej system $\text{Mg}-\text{M}-\text{Fe}-\text{O}$ ($M = \text{Cr}, \text{Al}$). Neorganicheskie materialy, 40 (4), 495–497. 6. Komlev, A. A., Ilkhan, S. (2012). Formirovanie nanochastich zhelezo-magnievoj shpineli pri degidratatsii soosazhdennykh gidroksidov magnija i zheleza. Nanosistemy: fizika, khimija, matematika, 3 (4), 114–121. 7. Komlev, A. A., Semenova, A. S. (2014). Poluchenie y mahnytnye svoystva nanokristallicheskykh poroshkov na osnove tverdykh rastvorov $\text{MgFe}_2\text{O}_4 \cdot n\text{Fe}_2\text{O}_3$. Zhurnal prikladnoj khymy, 87 (11), 1564. 8. El-Sheikh, S. M., Rabbah, M. (2013). Novel low temperature synthesis of spinel nano-magnesium chromites from secondary resources. Thermochimica Acta, 568, 13–19. 9. Pisarska-Piess, B. B., Gontarz, Z. (1998). The thermal decomposition of certain metal chromates(VI). Polish Journal of Chemistry, 72, 9, 2067–2078. 10. Rabkin, L. I., Soskin, S. A., Jepshtejn, B. Sh. (1968). Ferrity. Stroenie, svoystva, tehnologija proizvodstva. Jenergiya, 384. 11. Adamenko, O. M., Lisnjak, S. S., Nemij, S. M. (1999). Kristalokvazihimichni doslidzhenja prirodnykh hromshpinelidiv ta yh peretvorennja pri nagrivanii. Dopovidi NAN Ukraini, 5, 150–153. 12. Erastova, A. P., Saksonov, Ju. G. (1963). Issledovanie strukturyh izmenenij v magnievykh khromitakh-ferritakh. Ferrity i beskontaktnye jelementy. Minsk: Izd-vo ak. nauk BSSR, 152–162. 13. Tretjakov, Ju. D., Olejnikov, N. N., Granik, V. A. (1973). Fiziko-khimicheskie osnovy termicheskoy obrabotki ferritov. MGU, 203. 14. Bitniva, A. V. (2006). Ferytoutvorennia pry termoobrobtsi systemy hidroksydiv mahniiu, zaliza ta khromu. Fizyka i khimija tverdoho tila, 7 (1), 97–101. 15. Lutas, A. V., Matkivskij, M. P. (2009). Patent 86201 (Ukraina), МПК S01G 49/00, С01F 5/00 / Sposib oderzhannia feryt-khromitiv mahniuu shliakhom sumisnoho osadzhenia hidroksydiv. №200512223. Zayavl.

19.12.05. Opubl. 10.04.2009. Of. biul. "Promyslova vlasnist", № 7. **16.** Belous, A. H., Pashkova, E. V., Elshanskyi, V. A. (2001). Ferrytoobrazovanye pry termoobrabotke systemy hydroksydov zheleza, nykelia i tsynka. Ukr. khym. zhurnal, 67 (1), 11 – 15. **17.** Horelyk, S. S., Skakov, Yu. A., Rastorhiev, L. N. (1994). Renthenohrafycheskyi i elektronno-optycheskyi analiz. Moscow: MYSYS. – 327. **18.** Palatnyk,

L. S. Struktura i fizicheskie svoystva tverdykh tel. (1983). Moscow: Vysshaia shkola. **19.** Loginova, I. Ja., Treťjakov, Ju. D.; Belov, K. P., Treťjakov, Ju. D. (Eds.) (1971). Aktivnoe sostojanie produktov razlozhenija solej i ego vlijanie na formirovanie keramicheskoi struktury i magnitnye svojstva ferritov. Magnitnye i kristallohimicheskie issledovanija ferritov. Moscow: Izd-vo MGU, 239–271.

Надійшла (received) 16.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Луцась Анна Віталіївна – кандидат хімічних наук, Прикарпатський національний університет ім.В.Стефаніка, доцент кафедри “Неорганічної та фізичної хімії”; вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна, 76018; e-mail: alutsas@gmail.com.

Луцась Анна Віталіївна – кандидат химических наук, Прикарпатский национальный университет им. В. Стефаніка, доцент кафедры “Неорганической и физической химии”; ул. Шевченка, 57, г. Івано-Франковск, Украина, 76018; e-mail: alutsas@gmail.com.

Lutsas Anna – candidate of chemical sciences, associate Professor, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University; address: 57 Shevchenko str., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76018; e-mail: alutsas@gmail.com.

Яремій Іван Петрович – доктор фізико-математичних наук, Прикарпатський національний університет ім. В. Стефаніка, професор кафедри “Матеріалознавства і новітніх технологій”; вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна, 76018; e-mail: yaremiy@rambler.ru.

Яремий Иван Петрович – доктор физико-математических наук, Прикарпатский национальный университет им. В. Стефаніка, професор кафедры “Материалознавства и новейших технологий”; ул. Шевченка, 57, г. Івано-Франковск, Украина, 76018; e-mail: yaremiy@rambler.ru.

Ivan Yaremiy – doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University; address: 57 Shevchenko str., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76018; e-mail: yaremiy@rambler.ru.

Матківський Микола Петрович – кандидат технічних наук, Прикарпатський національний університет ім. В.Стефаніка, доцент Кафедри “Неорганічної та фізичної хімії”, заступник директора з навчальної роботи Інституту Природничих Наук; вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, Україна, 76018;

Матковский Николай Петрович – кандидат технических наук, Прикарпатский национальный университет им. В. Стефаніка, заместитель директора по учебной работе Института Естественных Наук, доцент кафедры “Неорганической и физической химии”; ул. Шевченка, 57, г. Івано-Франковск, Украина, 76018; e-mail: pryr_dep@pu.if.ua.

Mykola Matkivskyi – candidate of technical sciences, associate professor, Vasyl Stefanyk Precarpathian National University; address: 57 Shevchenko str., Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76018; e-mail: Pryr_dep@pu.if.ua.

Яремій Софія Іванівна – кандидат фізико-математичних наук, Івано-Франківський національний медичний університет, асистент кафедри медичної інформатики, медичної і біологічної фізики; вул. Галицька, 2, м. Івано-Франківськ, 76018; e-mail: Sofiya.Yaremiy@rambler.ru

Яремий София Ивановна – кандидат физико-математических наук, Івано-Франковский национальный медицинский университет, ассистент кафедры медицинской информатики, медицинской и биологической физики; ул. Галицкая, 2, г. Івано-Франковск, 76018; e-mail: Sofiya.Yaremiy@rambler.ru.

Yaremiy Sofiya – candidate of Physical and Mathematical Sciences, Ivano-Frankivsk National Medical University, assistant Department of Medical Informatics, Medical and Biological Physics; addresses: 76018, Ivano-Frankivsk, st. Galytska, 2; e-mail: Sofiya.Yaremiy@rambler.ru.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ТА КОМПЛЕКСАМИ

УДК 629.7.615.3

Н. С. АЩЕПКОВА, С. С. КАПЕРА

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО РОБОТА

Розглянуто імітаційне моделювання транспортного робота на основі Lego Mindstorms NXT 2.0. Визначено склад системи керування та особливості конструкції шасі моделі транспортного робота. Існуюча елементна база дозволяє здійснювати пошук об'єкту, транспортування та виштовхування його за робочу зону. Додаткова умова вибору стратегії руху – обмеженість робочої зони.

Реалізовані три стратегії руху: Пошук кеглів з поверненням до центру, переміщення по спіралі, «Танок у колі». Оптимальна стратегія обрана за критерієм швидкодії.

Ключеві слова: модель, транспортний робот, шасі, робоча зона, стратегія руху, критерій оптимальності, швидкодія.

Вступ. Із усього спектра існуючих робототехнічних засобів можна виділити особливий клас - орієнтований на освітні цілі. Це різноманітні рухливі платформи, набори механічних і (або) електронних компонентів, конструктори роботів [1]. Проведений аналіз оглядів різних платформ і конструкторів дозволяє виділити конструктор Lego Mindstorms NXT 2.0 [2], який охоплює основні розділи робототехніки: механіку, електроніку і програмування.

Студенти спеціальності робототехнічні системи і комплекси під час дипломного проектування створюють модель робота на базі конструктора Lego Mindstorms NXT 2.0, здійснюють синтез системи керування, розробляють стратегію руху, обирають програмне середовище, виконують імітаційне моделювання та експериментальні дослідження відповідно до індивідуального завдання.

Постановка задачі імітаційного моделювання руху транспортного робота. Модель транспортного робота встановлюється у центр рингу (рис.1). Мета робота виштовхнути усі кеглі за межі рингу за найменший проміжок часу. Кегля вважається виштовхнутою, якщо жодна її частина не знаходиться у межах рингу. В випадку повернення (зворотного закрочування) кегля, яка один раз залишила межі кола, вважається виштовхнутою. На очищення рингу від кеглів дається не більш 2 хвилин. Якщо робот виходить за межі кола більш ніж на 5 с, спроба вважається невдалою і не зараховується.

Модель транспортного робота, по умовам змагання, не може мати маніпулятор [3].

Початкові вимоги:

1) Предметна область (ринг): колір рингу – світлий, обмежувальна лінія – коло діаметром 1 м, колір обмежувальної лінії – чорний, ширина обмежувальної лінії – 50 мм.

2) Робот: максимальна ширина – 200 мм, висота робота – без обмежень, вага робота – без обмежень, наявність маніпулятора – не має.

3) Кеглі: загальна кількість – 8, діаметр кеглі – не більше 70 мм, висота кеглі – не більше 120 мм, вага кеглі – не більше 50 г.

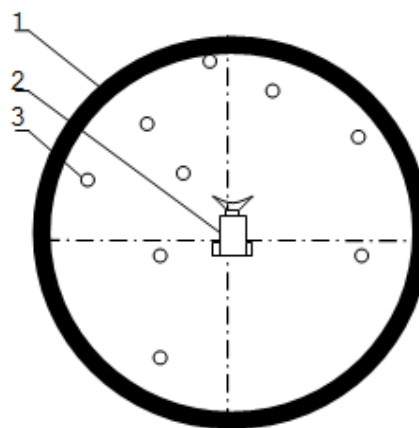


Рис. 1 – Завдання для моделі транспортного робота: 1 - предметна область (ринг), 2 – робот, 3 - кеглі

Аналіз літературних даних. В статті [4] за завданням Міністерства освіти та науки РФ (проект №7.559.2011 і ГК№П761 від 20.05.2010) здійснено аналіз робототехнічних стендів для вищих навчальних закладів. Автори доводять доцільність використання конструктора Lego Mindstorms NXT 2.0 для освітніх установ.

Поширенню Lego Mindstorms NXT 2.0 сприяє наявність у базовому комплекті мікроконтролера, двигунів, 4 різноманітних датчиків та деталей для конструювання [2]. Для більш досконалих моделей комплектуючі можна замовити на офіційному сайті Lego [5].

Система управління дозволяє реалізувати структури з П, ПД та ПД-регуляторами [6, 7]. Програмування може здійснюватись більш ніж на 10 мовах програмування.

Мета статті – дослідження з вибору оптимальної стратегії руху та оцінка швидкодії моделі транспортного робота.

Елементи системи керування. Основним елементом системи управління моделі транспортного робота є мікропроцесорний блок (мікроконтролер AT918AM78256), який може отримувати інформацію максимум від 4-х датчиків та передавати управляючі сигнали максимум на 3 електродвигуни [2, 6, 7] (рис. 2).



Рис. 2 – Мікропроцесорний блок Lego NXT

Двигун представлений у вигляді сервомотору з редуктором [2, 6, 7] (рис. 3).

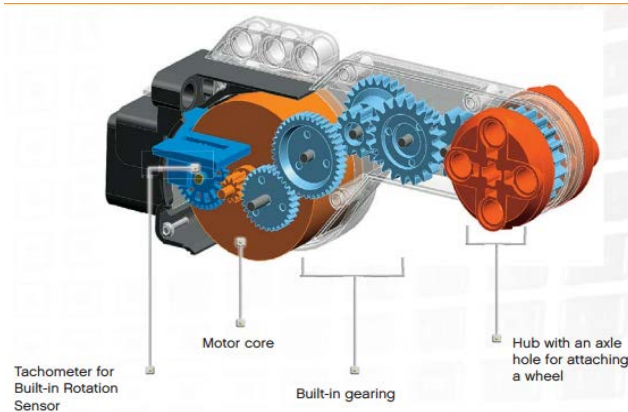


Рис. 3 – Сервомотор з редуктором

Сервомотор є виконавчим механізмом, що дозволяє роботів рухатися. Швидкість руху може регулюватися за допомогою завдання через програмне забезпечення різного рівня потужності.

Кожний сервомотор містить датчик обертання. Наявність такого датчика дозволяє задавати величину осьового переміщення з точністю 1 градус і тим самим здійснювати точне керування рухом. Ще одним плюсом убудованого датчика обертання є підтримка автоматичної синхронізації двох сервомоторів що забезпечує точний рух робота по прямій.

Основні характеристики двигуна [2, 6, 7]: максимально можлива швидкість обертання вихідного валу з навантаженням при включеній регулюванні потужності - 120 обертів на хвилину при 9 В живлення (батареї AA), і 90 обертів на хвилину при 7,2 В живлення (стандартна батарея LEGO або NiMH акумулятори). Максимальна швидкість обертання вихідного валу без навантаження - 160 обертів на хвилину при 9 В, 130 обертів в хвилину при 7,2 В.

Конструкція моделі транспортного робота.

Для збільшення маневреності моделі транспортного робота запропоновано схему шасі з двома приводними колесами та опорними танковими роликми (рис. 5), яка відрізняється від чотирьохколісної шасі високою маневреністю (здатність виконувати поворот на місці), а від триколісних шасі - високою прохідністю.

Здійснивши аналіз конструкцій, було запропоновано декілька варіантів навісного обладнання: великі колеса, бампер, малий ківш, великий ківш.

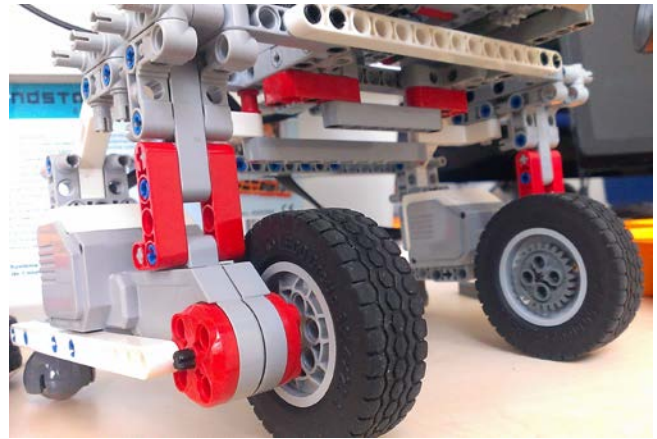


Рис. 4 – Шасі моделі транспортного робота

При експериментальному розв'язанні задачі з'ясувалося, що:

кегли потрапляють під колеса, падають і застряють; транспортний робот втрачає керованість і рухливість;

виштовхнуті кеглі залишаються частково у предметній області, оскільки «побачивши» лінію межі, робот розвертається;

робот здійснює дуже багато зайвих рухів;

система керування працює не ефективно.

Для позбавлення від перелічених недоліків побудовано ківш шириною 20÷25 см безпосередньо перед датчиком освітленості. Загальний вигляд моделі транспортного робота наведено на рис. 5.

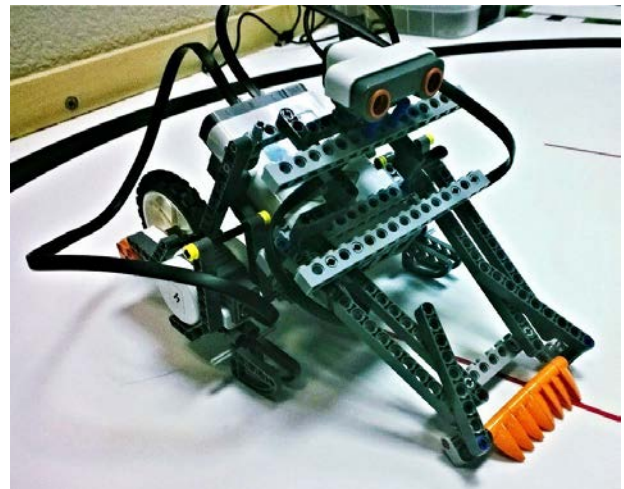


Рис. 5 – Конструкція моделі транспортного робота

Для вдалого розв'язання поставленої задачі необхідно розробити стратегію руху моделі. Існуюча елементна база дозволяє здійснювати пошук об'єкту, транспортування та виштовхування його за робочу зону. Додаткова умова вибору стратегії руху – обмеженість робочої зони, критерій оптимальності – швидкість.

В [1] автор наводить декілька традиційних стратегій руху моделі транспортного робота (рис.6,7).

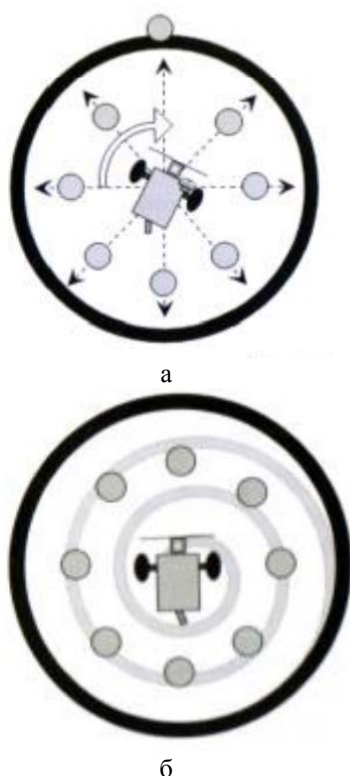


Рис. 6 – Стратегія руху транспортного робота: а - пошук кеглів з поверненням до центру, б – переміщення по спіралі

Реалізація наведених стратегій вимагає одночасного виконання декількох функцій:

- запит датчиків у пошуку об'єкту (кегли),
- аналіз сигналу відгуку,
- аналіз напрямку та відстані до об'єкту,
- аналіз та розрахунок потужності, обертаючого моменту та часу витримки для приводів коліс,
- здійснення переміщення,
- запит датчиків для аналізу розташування робота у межах робочої зони,
- обрання найкоротшого маршруту для виштовхування об'єкту (кегли) за межі робочої зони,
- транспортування об'єкту (кегли) за межі робочої зони.

В [8] автор доводить, що подібні ресурсомісткі завдання при передачі даних за допомогою бездротового з'єднання Bluetooth, значно погіршують керованість моделі, та понижають швидкодію. Застосування передачі даних за допомогою USB - кабелю обмежує дальність робота від комп'ютера максимальною довжиною кабелю, яка становить п'ять метрів [2, 6, 7]. При реалізації стратегії переміщення по спіралі кабель може зачепитися за кеглі і сприяти як її виштовхуванню, так і повторному зачепуванню. Отже обидві стратегії не дуже вдалі.

Для підвищення швидкодії необхідно скоротити час, який витрачається на аналіз інформації з датчиків, планування і дотримання траєкторії руху. Система керування має бути надійною, а стратегія руху – простою. Оскільки навісне обладнання нерухоме але достатньо широке, то робот може переміщатися за спеціально розробленою стратегією «Танок у колі» [6] (рис. 7).

1. Робот встановлюється у центрі кола.
2. Йдемо вперед доки показання датчика освітленості не знизяться на 5 пунктів (дійшли до межі).
3. Від'їхати назад протягом 0,5 с.
4. Розвернутися на $120 \div 150^\circ$ (контроль та керування за часом).
5. Повторювати п.п. 2 - 4 нескінченно.

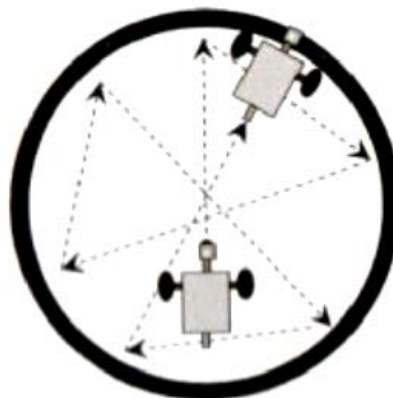


Рис. 7 – Спеціально розроблена стратегія руху транспортного робота «Танок у колі»

Недоліки стратегії руху транспортного робота «Танок у колі» наведені в [6] усуваються доопрацюванням програмного забезпечення. Проведені експериментальні дослідження по 20 реалізацій кожної стратегії руху моделі транспортного робота, для однакових початкових умов розміщення кеглів у рингу. Відсутність багаторазового обміну інформацією між мікроконтролером і комп'ютером значно підвищує швидкодію і не знижує ефективність дій моделі робота. Результати експериментальних досліджень реалізації різних стратегій руху наведено в табл. 1.

Таблиця 1– Результати експериментальних досліджень

Стратегія руху	Середнє значення використання часу, с	Математичне очікування кількості виштовхнутих кеглів
пошук кеглів з поверненням до центру	110	7,8
переміщення по спіралі	90	7,2
«Танок у колі»	80	7,7

Висновки. Використання набору Lego Mindstorms NXT 2.0 дозволяє конструювати моделі різноманітних роботів. Елементна база забезпечує можливість створення систем керування різного рівню складності.

Імітаційне моделювання рухів реальних конструкторів роботів дозволяє обрати стратегію руху за визначеним показником оптимальності.

Список літератури: 1. Раздел робототехника [Электронный ресурс] / «ДКО электронщик» – Дом компонентов и оборудования. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.electronshik.ru/class/robototehnika-1817.-15.09.2015>. 2. Официальный сайт конструктора Lego Mindstorms NXT [Электронный ресурс] – Режим доступа:

\www/URL: / <http://www.lego.com/ru-ru/mindstorms/default.aspx?domainredir=www.mindstorms.com&ignorereferer=true>. 3. Регламент соревнований работ [Электронный ресурс] – Режим доступа: \www/URL: / <http://www.myrobot.ru>. 4. Печников, А. Л. Перспективы развития робототехнических учебных стендов для высшего специального образования в области робототехники, автоматизации и мехатроники [Электронный ресурс] / А. Л. Печников, В. А. Жмудь, В. Г. Трубин, А. Б. Колкер // Труды конференции Scientific World - Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.world.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-212/informatics-computer-science-and-automation-212/13341-212-831>. – 26.08.2015. 5. Internet shop of Lego Mindstorms [Electronic resource] – Available at: \www/URL: <http://shop.lego.com>. 6. Филиппов, С. А. Робототехника для детей и родителей [Текст] / С. А. Филиппов – СПб.: Наука. – 2013. – 319 с. 7. Сайт образовательных программ корпорации Lego [Электронный ресурс] – Режим доступа: \www/URL: <http://www.legoeducation.com>. 8. Дусеев, В. Р. Управление роботом Lego NXT посредством Bluetooth [Текст] / В. Р. Дусеев // Вестник науки Сибири. Серия: Информационные технологии и системы управления. – 2014. – № 2 (12). – С. 147–153. 9. Неведов, Г. А. Реализация алгоритма управления четырёхколёсным роботом Lego Mindstorms, обеспечивающего движение вдоль заданного пути [Электронный ресурс] / Г. А. Неведов // Молодёжный научно-технический вестник. – 2014. – № 2. – Режим доступа: \www/URL: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/551896.html>. – 10.09.2015. 10. Куафе, Ф. Взаимодействие робота с внешней средой [Текст] / Ф. Куафе. – М.: Мир, 1985. – 285 с.

Bibliography (transliterated): 1. Razdel robototekhnika. «DKO Electronshchik» – Dom komponentov i oborudovaniia. Available: \www/URL: <http://www.electronshik.ru/class/robototekhnika-1817>. Last accessed 15.09.2015. 2. Official site of Lego Mindstorms NXT. Available: \www/URL: <http://www.lego.com/ru-ru/mindstorms/default.aspx?domainredir=www.mindstorms.com&ignorereferer=true>. 3. Rehlament sorevnovanyi robotov. Available: \www/URL: <http://www.myrobot.ru>. 4. Pechnikov, A. L., Zhmud', V. A., Trubin, V. G., Kolker, A. B. Perspektivy razvitiia robototekhnicheskikh uchebnykh stendov dlia vysshego spetsial'nogo obrazovaniia v oblasti robototekhniki, avtomatiki i mehatroniki. Trudy konferentsii Scientific World – Perspektivnye innovatsii v nauke, obrazovanii, proizvodstve i transporte. Available: <http://www.world.com.ua/index.php/ru/technical-sciences-212/informatics-computer-science-and-automation-212/13341-212-831>. Last accessed 26.08.2015. 5. Internet shop of Lego Mindstorms. Available: \www/URL: <http://shop.lego.com>. 6. Filippov, S. A. (2013). Robototekhnika dlya detey i roditel'ey. SPb.: Nauka, 319. 7. Official site of Lego Education. Available: \www/URL: <http://www.legoeducation.com>. 8. Duseev, V. R. (2014). Upravlenie robotom Lego NXT posredstvom Bluetooth. Vestnik nauki Sibiri. Seriya: Informacionnye tehnologii i sistemy upravleniya, № 2 (12), 147–153. 9. Nefedov, G. A. (2014). Realizatsiya algoritma upravleniya chetyrjohkolesnym robotom Lego Mindstorms, obespechivajushhego dvizhenie vdol' zadannogo puti. Molodjzhnyj nauchno-tehnicheskij vestnik, 2. Available: <http://sntbul.bmstu.ru/doc/551896.html>. Last accessed 10.09.2015. 10. Kuafe, F. (1985). Vzaimodeistvie robota s vneshnei sredoi. Moscow: Mir, 285.

Поступила (received) 26.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ащепкова Наталія Сергіївна – кандидат технічних наук, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, доцент кафедри механотроніки; пр. Гагарина, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49010; тел.: 066-292-01-47; e-mail: ashhepkova_natalja@rambler.ru.

Ащепкова Наталья Сергеевна – кандидат технических наук, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, доцент кафедры механотроники; пр. Гагарина, 72, Днепропетровск, Украина, 49010; тел.: 066-292-01-47; e-mail: ashhepkova_natalja@rambler.ru.

Ashhepkova Natalja Sergeevna – candidate of technical sciences, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, associate professor department of mechatronics; Gagarin av., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010; tel.: 066-292-01-47; e-mail: ashhepkova_natalja@rambler.ru.

Капера Сергій Сергійович – аспірант, Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, кафедра механотроніки; пр. Гагарина, 72, Дніпропетровськ, Україна, 49010.

Капера Сергей Сергеевич – аспірант, Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, кафедра механотроники; пр. Гагарина, 72, Днепропетровск, Украина, 49010

Kapera Sergey Sergeevich – graduate student, Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, department of mechatronics; Gagarin av., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010

УДК 656.254.5

П. В. ДОЛГОПОЛОВ, Т. В. ГОЛОВКО, Т. В. ГАЛИШИНЕЦЬ, А. ІВАНОВА

УДОСКОНАЛЕННЯ ДИСПЕТЧЕРСЬКОГО КЕРІВНИЦТВА ДІЛЬНИЦІ НА ОСНОВІ ПРОГНОЗНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ

Розроблено заходи з розширення функціонального складу диспетчерських систем управління. Розроблена модель побудови прогнозного графіку руху поїздів з урахуванням оперативних факторів перевізного процесу: діючі попередження, маса состава та потужність локомотивів, змінні станційні інтервали, наявність та довжина пасажирських платформ. Результати дослідження дозволяють формувати найбільш ефективний прогнозний графік руху поїздів, застосування якого підвищує дільничну швидкість та скорочує витрати на зупинки поїздів на дільниці.

Ключові слова: диспетчерська централізація, диспетчерське керівництво, поїзний диспетчер, станційний інтервал, прогнозний графік руху поїздів.

Вступ. В даний час з метою підвищення ефективності залізничних перевезень у Світі інтенсивно впроваджують інформаційні технології. Інформатизація дозволяє збільшити обсяги перевезень, скоротити транспортні витрати, підвищити якість перевезень, особливо у міжнародних транспортних коридорах (МТК) [1].

Однак в умовах світової глобалізації економіки залізниці, вже не повною мірою відповідають сучасним вимогам, які висувуються до транспорту, насамперед щодо вартості та тривалості доставки вантажів.

© П. В. Долгополов, Т. В. Головка, Т. В. Галишинець, А. Іванова, 2015

Одним із кроків, що суттєво дає можливість зменшити дані недоліки, є впровадження мікропроцесорних систем диспетчерської централізації (МСДЦ) на залізничних дільницях. Необхідно також удосконалити МСДЦ шляхом їх та інтелектуалізації, що дозволяє враховувати якомога більше експлуатаційних факторів, що впливають на перевізний процес.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Моделювання удосконаленого диспетчерського управління та побудови прогнозного ГРП на залізничних полігонах здійснено у роботах [2, 3]. З урахуванням запропонованих заходів в умовах високошвидкісного руху на дільниці запропоновані моделі дозволяють розраховувати та видавати поїзному диспетчеру план поїзної роботи з урахуванням діючих попереджень та іншими обмеженнями швидкості на дільницях.

У роботі [4] проведено дослідження з удосконалення управління вагонопотоками при збільшенні транзитності перевезень, що є актуальною задачею в умовах МТК.

У роботі [5] автори дають рекомендації щодо оптимізації варіантів процесу просування вагонопотоків в напрямку поромних комплексів, при цьому значна увага приділяється використанню систем підтримки прийняття рішень при роботі оперативних працівників.

У дослідженнях [6] формалізовано процес розвитку інтероперабельності мережі МТК на стратегічному рівні планування як оптимізаційну модель, що включає інтегральний показник оцінки та систему обмежень, яка відбиває умову збереження та освоєння заданих вантажопотоків для всієї мережі транспортних коридорів.

У роботі [7] побудовано модель оптимізації пропуску поїздів на підходах до сортувальної станції в умовах прогнозного диспетчерського управління.

Ціль та задачі дослідження. На вітчизняних залізницях використовуюється цілий ряд систем диспетчерської централізації. Однією з найбільш розповсюджених з них є МСДЦ «Каскад», використання якої у диспетчерському управлінні значні позитивні можливості, зокрема:

– телеуправління пристроями автоматики з автоматизованого робочого місця (АРМ) поїзного диспетчера (ДНЦ) з можливістю попереднього завдання маршрутів та постановки їх у чергу;

– автоматизована побудова графіків виконаного та прогнозного руху поїздів з відображенням плану поїзної роботи на дільниці;

– прогнозне управління рухом поїздів, що реалізується шляхом автоматичного приготування маршрутів згідно прогнозного графіку руху поїздів (ГРП) [8].

Значним недоліком даної системи є те, що прогнозний графік будується неадекватно, оскільки він розраховується на основі нормативних перегінних часів ходу. Це є причиною того, що прогнозний ГРП має нереальний план експлуатаційної роботи, який не може бути виконаний як план обов'язковий для реалізації. Тому першочерговими задачами є необхідність виправити такі фактори при побудові прогнозного графіку, як:

– автоматична побудова варіантних ГРП на період проведення ремонтних робіт із закриттям перегінних колій у «вікно»;

– розрахунок перегінних часів ходу в залежності від довжини поїзда, що впливає на тривалість станційних інтервалів;

– розрахунок перегінних часів ходу в залежності від маси, а відповідно і швидкості руху поїздів;

– розрахунок перегінних часів ходу в залежності від діючих попереджень;

– планування прийняття пасажирських поїздів на станції згідно наявності пасажирських платформ на станційних коліях та їх довжини.

Розробка моделі перевізного процесу дільниці на прогнозованому графіку руху поїздів. В якості полігону наукових досліджень обрано диспетчерське коло Стрий – Лавочне, що розташоване у межах міжнародного транспортного коридору.

Запропоновано лінійні пункти (ЛП) об'єднати з центром пунктом управління (ЦП) за допомогою кільцевих мереж зв'язку лінійних пунктів, які використовують виділені канали або фізичні лінії магістрального кабелю, як наведено на рис. 1.



Рис. 1 – Структурна схема локальної мережі зв'язку МСДЦ «Каскад» дільниці Стрий – Лавочне

Комплекси ЛП географічно розташовуються на станціях і складаються з мікропроцесорного контролера і комплексу уніфікованих модулів у відповідності зі складністю об'єкта автоматизації.

ГРП, в тому числі і прогнозний, що розробляється в МСДЦ, має забезпечувати:

– задоволення потреб у перевезенні пасажирів та вантажів;

– безпеку руху поїздів;

– раціональне використання рухомого складу;

– найефективніше використання пропускнуої і провізної спроможності ділянок та переробної спро-

можності станцій;

– дотримання встановленої тривалості безперервної роботи локомотивних бригад;

– можливість виконання робіт з поточного утримання та ремонту колії, споруд, пристроїв СЦБ, зв'язку й електропостачання за безумовного дотримання вимог охорони праці [9].

Досліджено, що МСДЦ «Каскад» в деякій мірі виправдовує себе також за рахунок функції автоматичної побудови прогнозного графіку руху. Але при побудові система не враховує багато важливих факторів, що не дає змоги диспетчеру повністю довіряти

цьому графіку.

При прокладанні прогнозної лінії ходу поїзда система використовує встановлене фіксоване значення маси поїзда без врахування факту, що не всі поїзди одної маси, відповідно і швидкість руху в них різна.

На рис. 1 зображена залежність часу ходу поїзда від його маси, різниця коливається в межах 1–2 хвилин на одному перегоні.



Рис. 2 – Вплив маси поїзда на прогнозу нитку ГРП в МСДЦ «Каскад»

Таким чином, масу поїзда при побудові прогнозного ГРП доцільно визначати як

$$Q = \frac{F_{kp} \cdot P \cdot (w_0' + i_p) \cdot g}{(w_0'' + i_p) \cdot g}; \quad (1)$$

де F_{kp} – розрахункова сила тяги локомотива, Н; P – розрахункова маса локомотива, т; w_0' – основний питомий опір локомотива, Н/кН; w_0'' – основний питомий опір складу потяга, Н/кН; i_p – крутість розрахункового підйому, ‰; g – прискорення вільного падіння, м/с² [10].

Перевірка розрахованої маси складу на можливість надійного подолання інерційного підйому

$$S_{np} \leq \sum_{i=1}^n S_i \leq \sum_{i=1}^n \frac{4,17 \cdot (v_{kini}^2 - v^2)}{f_k - \omega_k}, \quad (2)$$

де S_{np} – довжина інерційного підйому, м; S_i – відстань, яку проходить поїзд за час зміни швидкості від v_{ni}^2 до v_{ki}^2 , м; n – кількість інтервалів зміни швидкості; v_{ni}^2 – початкова швидкість інтервалу, км/год; v_{ki}^2 – кінцева швидкість інтервалу, км/год.

Також при прокладанні прогнозної лінії ходу поїзда системі слід розраховувати для кожного поїзда окремо тривалість між поїзних та станційних інтервалів, враховуючи довжину і масу поїзда, оскільки, величина станційних інтервалів залежить від засобів зв'язку при русі поїзда, способу управління стрілками, схеми роздільного пункту, профілю підходу до роздільного пункту, а також довжини і маси поїзда.

Значення міжпоїзного інтервалу при формуванні прогнозного ГРП доцільно визначати як

$$I_{AB} = 0,06 \frac{3l_{bl} + l_n}{v_x^{ван}}, \quad (3)$$

$$I_{AB}^{роз} = 0,06 \frac{2l_{bl} + l_n}{v_{роз}^{ван}} + t_e, \quad (4)$$

де l_{bl} – довжина блок-ділянки, м; l_n – довжина вантажного поїзда, м; $v_x^{ван}$ – ходова швидкість вантажного поїзда, км/год; $v_{роз}^{ван}$ – швидкість на розрахунковому підйомі, км/год; t_e – час на сприймання показання сигналу машиністом, хв.

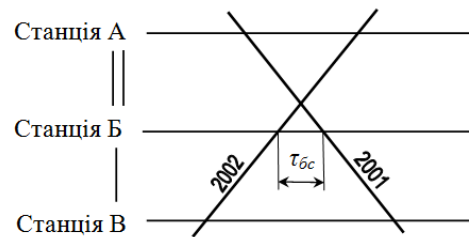


Рис. 3 – Станційний інтервал беззупинного схрещення

На базовій ділянці по обох коліях організовано двосторонній рух поїздів по двосторонньому автоблокуванню, тому важливо при побудові прогнозного ГРП оперативно розраховувати станційні інтервали беззупинного схрещення $\tau_{бс}$ – найменший проміжок часу між прослідкуванням двома зустрічними поїздами осі станції, що обмежує одноколіїний та двоколіїний перегон, який показано на рис. 3.

В даному випадку, якщо довжина поїзда більша за корисну довжину колій, то на ГРП доцільно планувати зупинку одному з поїздів [9].

На останньому етапі модель повинна визначати прогнозу наявну пропускну спроможність ділянки на кожен шестигодинний оперативний період за виразом

$$N_{попр} = N_{ван} + N_{пс} \cdot \epsilon_{пс} + N_{зб} \cdot \epsilon_{зб} + N_{шв} \cdot \epsilon_{шв},$$

де $N_{ван}$, $N_{пс}$, $N_{зб}$, $N_{шв}$ – число (пар, одиниць) вантажних, пасажирських та приміських, збірних, швидкісних поїздів з порожніх вагонів та договірних поїздів, які необхідно прокласти на графіку; $\epsilon_{пс}$, $\epsilon_{зб}$, $\epsilon_{шв}$ – коефіцієнти знімання вантажних поїздів

загальної швидкості поїздами інших вказаних категорій.

Якщо пропускна спроможність перевищує наявну, то формується інший варіант прогнозного ГРП.

Висновки. Розширення складу функціональних задач МСДЦ «Каскад» дозволяє складати прогнозний графік руху поїздів враховуючи оперативні зміни в перевізному процесі. З урахуванням запропонованих заходів автоматично побудований прогнозний графік руху поїздів зможе стати планом, обов'язковим для реалізації.

Список літератури: 1. Концепція державної програми реформування залізничного транспорту України [Текст]: схвалено розпорядженням КМУ №651-р від 27.12.2006. – К.: Магістраль, №1 (1179) 10-16 січня 2007 р. – С. 6. 2. Долгополов, П. В. Удосконалення диспетчерського управління на дільниці в умовах швидкісного руху [Текст]: П. В. Долгополов, Р. В. Чикаров // Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2015. – Вип. 154. – С. 53 – 57. 3. Долгополов, П. В. Удосконалення перевізного процесу на транспортному полігоні на основі моделі диспетчерського управління [Текст]: П. В. Долгополов, В. П. Манзуля, А. О. Рожченко // Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 145. – С. 11–17. 4. Малахова, О. А. Удосконалення управління вагонопотоками при збільшенні транзитності перевезень [Текст] / О. А. Малахова, К. В. Таратушка // Зб. наук. пр. Харків: УкрДАЗТ, 2012. – Вип. 133. – С. 105 – 110. 5. Головка, Т. В. Дослідження варіантів процесу просування вагонопотоків в напрямку поромних комплексів [Текст] / Т. В. Головка // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 28. – С. 17–21. 6. Калашникова, Т. Ю. Удосконалення інформаційно-керуючої системи залізниць в умовах інтеперабельності [Текст] / Т. Ю. Калашникова, С. М., Кушкін, С. Д. Кіценко // Збірник наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 146. – С. 61– 65. 7. Лаврухін, О. В. Побудова

моделі оптимізації пропуску поїздів на підходах до сортувальної станції [Текст] / О. В. Лаврухін, П. В. Долгополов, Ю. В. Доценко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – Харків: 2013. – Вип. 64. – С. 15–17. 8. Дянько, М. І. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «Каскад» [Текст]: навч. посібник / М. І. Дянько [та ін.]. – Харків: УкрДАЗТ, 2005. – 176 с. 9. Інструкція зі складання графіка руху поїздів на залізницях України [текст]: ЦТ-0040. – К., 2002. 10. Гребенюк, П. Т. Тяговые расчеты: Справочник [Текст]: П. Т. Гребенюк, А. Н. Долганов, А. И. Скворцова. – М.: Транспорт, 1987. – 174 с.

Bibliography (transliterated): 1. KontseptsIya derzhavnogo programi reformuvannya zaliznichnogo transportu Ukraini (2007). Shvaleno rozporiyadzhennyam KМУ #651-r vІd 27.12.2006. Kiev: MagIstral, #1 (1179) 10-16 sichnya, 6. 2. Dolhopolov, P., Chikarov, R. (2015). Udoskonalennya dyspetchers'koho upravlinnya na dil'nytsi v umovakh shvydkisnoho rukhu. Zbirnyk naukovykh prats' UkrDAZT, 154, 53 – 57. 3. Dolhopolov, P., Manzulya, V., Rozhenko, A. (2014). Udoskonalennya pereviznogo protsessu na transportnomu poligoni na osnovi modeli dyspetcherskogo upravlinnya. Zbirnyk naukovykh prats' UkrDAZT, 145, 11–17. 4. Malakhova, O. A. (2012). Udoskonalennya upravlinnya vahonopotokamy pry zbil'shenni tranzytynosti perevezen'. Zb. nauk. pr. UkrDAZT, 133, 105 – 110. 5. Holovko, T. V. (2011). Doslidzhennya variantiv protsesu prosuvannya vahonopotokiv v napryamku poromnykh kompleksiv. Zb. nauk. prats'. Donets'k: DonIZT, 28, 17–21. 6. Kalashnikova, T., Kushkin, E., Kitsenko, E. (2014). Udoskonalennya informatsiyno-keruyuchoyi systemy zaliznyts' v umovakh interoperabel'nosti. Zbirnyk naukovykh prats', Kharkiv: UkrDAZT, 146, 61–65. 7. Lavrukhin, O., Dolhopolov, P., Doczenko, Y. (2013). Pobudova modeli optyimizatsiyi propusku poyzidiv na pidkhodakh do sortoval'noyi stantsiy. Skhidno-Yevropeys'kyu zhurnalпередovyykh tekhnolohiy, Kharkov, 64, 15–17. 8. Danko, M. I. (2005). Mikroprotseorna dyspetcherska tsentralizatsiya «Kaskad». Navch. posibnik. Kharkov: UkrDAZT, 176. 9. Instruksiya zi skladannya hrafika rukhu poyzidiv na zaliznytsyakh Ukrainy: TsT-0040, Kiev, 2002. 10. Hrebennyuk, P., Dolhanov, A., Skvortsova, A. (1987). Tyahovye rascheti: Spravochnyk, Moscow: Transport, 143–174.

Надійшла (received) 26.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Долгополов Петро Віталійович – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри «Управління експлуатаційною роботою», пл. Феєрбаха, 7, м. Харків, 61050; тел. 095-090-37-47; e-mail: pit2013@mail.ru.

Долгополов Пётр Витальевич – кандидат технических наук, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, кафедра «Управление эксплуатационной работой» пл. Феєрбаха, 7, г. Харьков, 61050

Dolgopolov Peter – candidate of science, Ukrainian state university of railway transport, department of management of operational work. Feeyerbakh sq, 7, Kharkov, 61050, Ukraine; tel.: 095-090-37-47; e-mail: pit2013@mail.ru.

Головка Тетяна Владиславна – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри «Управління експлуатаційною роботою».

Головка Татьяна Владиславовна – кандидат технических наук, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, кафедра «Управление эксплуатационной работой» пл. Феєрбаха, 7, г. Харьков, 61050; тел.: 095-838-91-72. E-mail: nosteratu@mail.ru.

Golovko Tatyana – candidate of science, Ukrainian state university of railway transport, department of management of operational work. Feeyerbakh sq, 7, Kharkov, 61050, Ukraine; tel.: 095-838-91-72. E-mail: nosteratu@mail.ru.

Галишинець Тарас Володимирович – магістрант, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, кафедра «Управление эксплуатационной работой»; тел. 099-777-51-86 e-mail: galishinectaras@rambler.ru.

Галишинець Тарас Володимирович – магістрант, Український державний університет залізничного транспорту, кафедра «Управління експлуатаційною роботою»; тел.: 099-777-51-86 e-mail: galishinectaras@rambler.ru.

Galyshynec Taras – master student, Ukrainian state university of railway transport, department of management of operational work. Feeyerbakh sq, 7, Kharkov, 61050, Ukraine; tel.: 099-777-51-86 e-mail: galishinectaras@rambler.ru.

Іванова Юлія Андріївна – магістрант, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, кафедра «Управление эксплуатационной работой»; тел.: 095-838-91-72. E-mail: nosteratu@mail.ru.

Іванова Юлія Андріївна – магістрант, Український державний університет залізничного транспорту, кафедра «Управління експлуатаційною роботою»; тел.: 095-164-65-55. E-mail: juliaivanova08@gmail.com.

Ivanova Yuliia – master student, Ukrainian state university of railway transport department of management of operational work. Feeyerbakh sq, 7, Kharkov, 61050, Ukraine; tel.: (095) 164-65-55 e-mail: juliaivanova08@gmail.com.

УДК 658.52.011

В. О. ГРИГОРЕЦЬКИЙ**СТРУКТУРА І АЛГОРИТМ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ДОПУСКОМ АВІАДИСПЕТЧЕРА ДО САМОСТІЙНОЇ РАБОТИ**

У статті запропоновані принципи побудови автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з обслуговування повітряного руху. Запропонований контур підготовки авіадиспетчерів до самостійної роботи з використанням інформаційних моделей діяльності та етапи автоматизованої діагностики авіадиспетчерів. Розроблена функціональна схема автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з управління повітряним рухом. Обґрунтовано концепцію формалізації і автоматизації процесів прийняття рішення про допуск авіадиспетчерів до самостійної роботи з точки зору забезпечення безпеки польотів.

Ключові слова: авіадиспетчер, управління повітряним рухом, тренажер, моделі діяльності.

Вступ. Останні десятиліття у світовій системі обслуговування повітряного руху (ОПР) характеризується процесом автоматизації основних та допоміжних функцій, що виконуються авіадиспетчерами, враховуючи як безпосереднє управління повітряним рухом (УПР), так і питання, пов'язані з навчанням, підготовкою і перепідготовкою авіафахівців. Проблема людського фактору при УПР є особливо актуальною. Процес УПР потребує застосування підвищених вимог до людей, що безпосередньо здійснюють радіолокаційний чи процедурний контроль за польотами повітряних суден. Оператор в системі УПР, яка відноситься до людино-машинних систем особливо складності, виступає як особлива ланка. Це пояснюється жорсткими вимогами до часу прийняття рішень та надійності операторів через високу швидкість процесів, що відбуваються в системі, та підвищений рівень небезпеки для життя людей. Тому безпека і ефективність повітряного руху суттєво залежать від підбору кандидатів, що найкраще зможуть справлятися з майбутньою роботою, а також від їх подальшої професійної підготовки в умовах авіаційного підприємства на протязі всього періоду діяльності.

Але допуск авіадиспетчерів до самостійної роботи після отримання освітнього рівня «спеціаліст» у навчальному закладі в даний момент є одним з найменш досліджених і автоматизованих. Дотепер не розглядали як єдиний процес, що вимагає комплексного врахування різних факторів, всю послідовність необхідних дій при стажуванні. Тому на даний момент вирішення з позицій системного підходу задачі автоматизації допуску авіадиспетчерів до самостійної роботи при введенні в дію на робочих місцях служби руху є досить актуальним питанням, що потребує свого термінового вирішення в умовах постійного ускладнення програмно-технічних засобів, що застосовуються при УПР. Правильно організований вибір кандидатів при прийомі на роботу на конкретне робоче місце дозволяє вже з самого початку відсівати осіб, що не відповідають вказаним вимогам і зберегти кошти та час, що необхідні для їх навчання та стажування. Організація ж самого процесу стажування на основі автоматизованого контролю стану інформаційних моделей особи людини-стажиста, що є претендентом для отримання допуску до самостійної роботи на конкретному робочому місці (далі – стажист), дозволить з індивідуальних позицій підходити до оцінки часу, необхідного для стажування, та об'єктивно оцінювати поточний рівень готовності стажиста до самостійної роботи.

Принципи побудови автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з обслуговування повітряного руху. Застосування узагальнених інформаційних моделей діяльності дозволяє представити процес підготовки авіадиспетчера до самостійної роботи у вигляді відкритого контуру, що включає (рис. 1):

- програмні модулі автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР;

- авіадиспетчерів-стажистів;
- зовнішні впливи.

Сукупність вхідних впливів ($\bar{E}(R, F)$) даного контуру є множиною факторів, які безпосередньо впливають на процес професійної підготовки авіадиспетчерів (F - цілі та стандарти професійної підготовки, $\bar{R} = \{Q_T, Q_P\}$ - сукупність ресурсів професійної підготовки (Q_T - засоби теоретичної підготовки, Q_P - засоби практичної підготовки)).

Сукупність керуючих впливів ($\bar{X}(U, U', U^*)$) автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР на процес професійної підготовки складається з набору шаблонів вправ (U), адаптованого набору вправ з урахуванням особливостей певного авіадиспетчера (U') та поточної вправи, що підготовлена для відображення на технічних засобах системи (U^*).

Зворотній зв'язок ($\bar{B}(Y, Y', Y^*)$) автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР є сукупністю результатів професійної підготовки авіадиспетчерів (Y — сукупність дій авіадиспетчерів у ході виконання вправи, Y' - сукупність зафіксованих програмних модулями дій авіадиспетчерів у ході вправи, Y^* - аналіз та інтерпретація результатів діяльності авіадиспетчерів).

Зовнішні впливи ($\bar{H}(h_1, h_2, \dots, h_p)$) на діяльність авіадиспетчерів у ході виконання вправ включають різномісні фактори, такі як: умови професійної підготовки, стан здоров'я авіадиспетчера, рівень мотивації та інші.

Автоматизоване отримання кількісно-якісних результатів діяльності авіадиспетчерів передбачає виконання наступних процедур (рис. 2):

$$M(TO_1, \dots, TO_n) \rightarrow P(R_1)^{KT} \rightarrow P(R_2)^{JK} \Rightarrow Db(S)$$

© В. О. Григорєцький. 2015

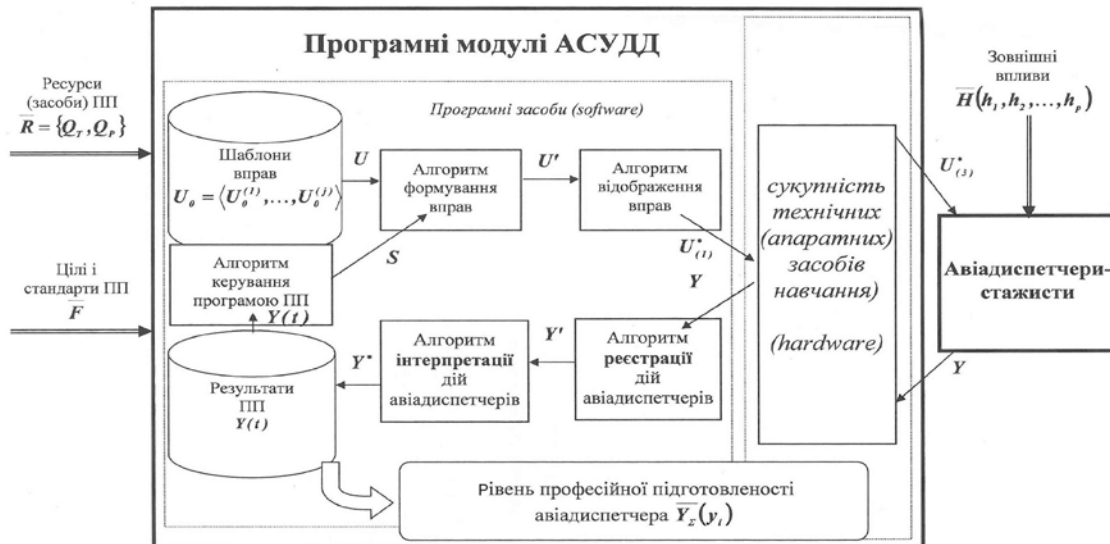


Рис. 1 – Контур підготовки авіадиспетчерів до самостійної роботи з використання інформаційних моделей діяльності

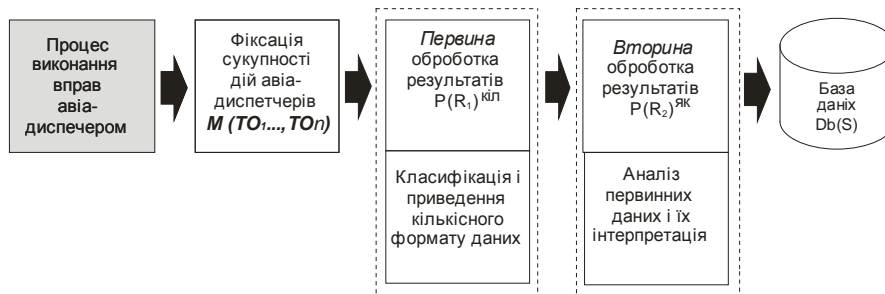


Рис. 2 – Етапи автоматизованої діагностики авіадиспетчерів

В результаті виконання алгоритму автоматизованої діагностики утворюється взаємопов'язана кількісно-якісна структура показників автоматизованої діагностики діяльності авіадиспетчера: кількісні показники (на нижньому, елементарному рівні), якісні показники (на найвищому рівні узагальнення результатів).

Одним зі шляхів вдосконалення системи професійної підготовки авіадиспетчерів і підвищення безпеки польотів є інтеграція всіх засобів і форм професійної підготовки у автоматизованих системах. Запропоновані принципи діагностики рівня професійної підготовленості авіадиспетчерів повинні бути реалізовані у комплексній автоматизованій системі управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР, що охоплює сукупність процесів пізнавальної діяльності авіадиспетчерів.

Основною метою автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР є підвищення надійності системи УПР за рахунок удосконалення процесів діагностики і керування рівнем професійної підготовленості авіадиспетчерів.

Автоматизована система управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР є програмним комплексом з "відкритою" архітектурою, якій притаманний ряд позитивних властивостей:

- гнучке налагодження модулів;
- підключення і нарощування функцій;
- інформаційна і програмна сумісність;
- розширені можливості тестування і адміністрування системи.

Організація автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР по модульному принципу має наступні переваги: логічна гнучкість, універсальність, точність, стабільність. Мірами ефективності (показниками якості функціонування) автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР є:

- ступінь інтелектуальності аналізу результатів професійної підготовки;
- рівень адаптації вправ до індивідуальних характеристик авіадиспетчерів;
- можливість забезпечення модульності програмних і технічних засобів;
- можливість збору, обробки, аналізу і збереження статистичної інформації про результати підготовки;
- рівень забезпечення мобільності, налагодження і вдосконалення програмних модулів системи.

Функціональна схема автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з ОПР включає структуровані інформаційні потоки масиву вхідних даних (I_{BX}), масиву внутрішніх даних (I_{BH}) і масиву вихідних даних (I_{BIX}).

У ході діагностики рівня професійної підготовленості циркуляція інформаційних потоків представляє собою односторонній рух даних в діагностичному середовищі (рис. 3): **масив вхідних даних** - прийом інформації ($I_{BX 1}, I_{BX 2}$) \Rightarrow **масив внутрішніх даних** - пошук ($I_{BH 1}$), переробка ($I_{BH 2}$), накопичення і збереження ($I_{BH 3}$) інформації \Rightarrow **масив вихідних даних** - видача ($I_{BIX 1}, I_{BIX 2}$) інформації.

Узагальнену модель автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР (АСУДД – $A_{Tren}^{(ST)}$) подамо у такому вигляді:

$$A_{Tren}^{(ST)} = \left\langle \sum_{j=1}^N L_j, \sum_{k=1}^N Y_k(t), P(I_A, I_C), \sum_{i=1}^N P(S_i), P(R_1(T), R_2(I)) \right\rangle$$

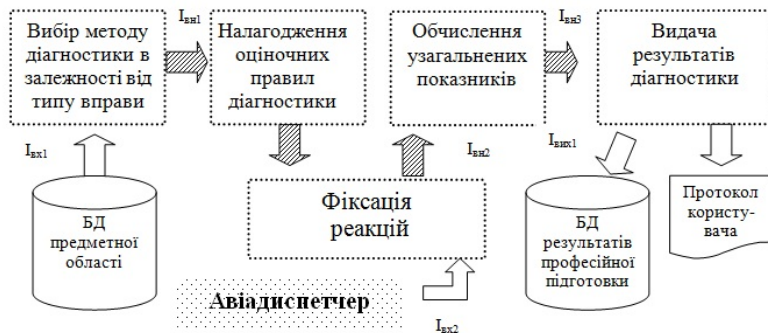


Рис. 3 – Функціональна схема автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з УПР

даній моделі наведені основні елементи реалізації автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з ОНР:

1. $\sum_{j=1}^N L_j$ - сукупність із j узагальнених моделей

проблемних ситуацій $j = (1, N)$, що використовуються у якості базових компонентів при формуванні вправ.

2. $\sum_{k=1}^N Y_k(t)$ - сукупність з k моделей авіадиспетчерів

$k \in (1, N)$. $Y_k(t)$ змінюються у часі (t) протягом професійної підготовки і професійної діяльності.

3. $P(I_A, I_C)$ - модель діяльності (алгоритм і критерії діагностики) інструктора.

4. $\sum_{i=1}^N P(S_i)$ - індивідуальні i -ті стратегії професійної підготовки

(S_i), що представляють собою сукупність вправ, які формуються в залежності від $Y_k(t)$ стандартів професійної підготовки.

5. $P(R_1(T), R_2(I))$ - база даних ($R_1(T)$ - первинні результати професійної підготовки (дії авіадиспетчерів, що зафіксовані у ході виконання вправи), $R_2(I)$ - вторинні результати підготовки (після виконання процедур аналізу і інтерпретації $R_1(T)$).

Висновки. В статті подано основні положення, що пов'язані з реалізацією запропонованих принципів, математичних і інформаційних моделей у вигляді алгоритмів роботи модулів автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчера до самостійної роботи (АСУДД).

1. Автоматизоване отримання кількісно-якісних результатів діяльності авіадиспетчерів передбачає виконання процедур фіксації сукупності дій диспетчерів, первинної (кількісної) і вторинної (якісної) обробки результатів.

2. Математична формалізація керування професійною підготовкою за допомогою АСУДД може роз-

глядатися як задача дискретного управління багатокроковим процесом з заданим кінцевим станом (нормативний цільовий рівень професійної підготовленості) і набором припустимих впливів, таких, що вплив, що реалізується на i -му кроці професійної підготовки, переводить авіадиспетчера зі одного стану в інший.

3. Навчальні вправи формуються на основі проблемних професійних задач заданої предметної області, що характеризують загальні закономірності і способи дій авіадиспетчерів у типових ситуаціях з УПР.

4. Одержані в процесі проведення експериментів результати було використано також для розробки алгоритму і програмного забезпечення модуля адаптивного визначення навчального навантаження при стажуванні у службі руху.

Список літератури: 1. Основні принципи врахування людського фактора в системах організації повітряного руху (ATM) Doc 9758 [Текст]. – Монреаль, Канада, 2000. – 156 с. 2. Шибанов, Г. П. Кількісна оцінка діяльності людини в системах людина – техніка [Текст] / Г. П. Шибанов. – М.: Машинобудування, 1983. – 263 с. 3. Макаров, І. М. Теорія вибору та прийняття рішень [Текст] / І. М. Макаров, Т. М. Виноградська та ін. – М. Наука, 1982. – 3238 с. 4. Неділько, С. Н. Моделі професійної надійності диспетчера обслуговування повітряного руху [Текст]: тези докл. міжн. наук.-прак. конф. / С. Н. Неділько, В. О. Григорєвський // Сучасні інформаційні технології в управлінні і професійній підготовці операторів складних систем. – Кіровоград: Видавництво ДЛАУ, 2003. – С. 63–65. 5. Атанов, Г. А. Навчання та штучний інтелект [Текст] / Г. А. Атанов, І. Н. Пустиннікова. – Донецьк: Видавництво ДООУ, 2002. – 504 с. 6. Денисов, В. Г. Авіаційна інженерна психологія [Текст] / В. Г. Денисов, В. Ф. Оніщенко, А. В. Скрипеч. – М.: Машинобудування, 1983. – 232 с. 7. Макаров, Р. Н. Авіаційна педагогіка [Текст]: навч. пос. / Р. Н. Макаров, С. Н. Неділько, А. П. Бамбуркин, В. О. Григорєвський. – Москва – Кіровоград: Видавництво МАПЧАК-ДЛАУ, 2005. – 433 с. 8. Кофман, А. Вступ в теорію нечітких множен [Текст] / А. Кофман. – М.: Радіо і зв'язок, 1982. – 432 с. 9. Красовський, А. А. Математичне модулювання та комп'ютерні системи навчання і тренажу [Текст] / А. А. Красовський. – М.: ВВІА ім. Жуковського, 1989. – 255 с. 10. Гмурман, В. Е. Теорія вірогідності та математична статистика. Навчальний посібник для вузів [Текст] / В. Е. Гмурман. – М.: Висша школа, 2000. – 479 с.

Bibliography (transliterated): 1. Osnovni principii vrahuvannya lyudskogo faktora v sistemax organizacii povitryanogo ruhu (ATM) Doc 9758 – Monreal, Kanada, 2000, 156. 2. Shibanov, G. P. (1983). Kilkisna ocinka diyalnosti lyudini v sistemax lyudina – texnika. Moscow: Mashinobuduvannya, 263. 3. Makarov, I. M., Vinogradskaya, T. M. ta insh. (1982). Teoriya viboru ta priynnyattya rishen. Moscow: Nauka, 3238. 4. Nedilko, S. N., Grigoreckij, V. O. (2003). Modeli profesijnoi nadijnosti dispetchera obslugovuvannya povitryanogo ruhu. Tezi dokladiv mizhnarodnoi naukovo – praktichnoi konferencii « Suchasni informacijni tehnologii v upravlinni i profesijnij pidgotovci operatoriv skladnix sistem». Kirovograd: Vidavnicтво DLAU, 63-65. 5. Atanov, G. A., Pustinnikova, I. N. (2002). Navchannya ta htuchnij intelekt. – Doneck: Vidavnicтво DOU, 504. 6. Denisov, V. G., Onishhenko, V. F., Skripech, A. V. (1983). Aviacijna inzhenerna psixologiya. Moscow: Mashinobuduvannya, 232. 7. Makarov, R. N., Nedilko, S. N., Bamburkin, A. P., Grigoreckij, V. O. (2005). Aviacijna pedagogika: Navchalnij posibnik. Moskva – Kirovograd: Vidavnicтво MAPChAK-DLAU, 433. 8. Kofman, A. (1982). Vstup v teoriyu nechitkix mnozhen. Moscow: Radio i zv'yazok, 432. 9. Krasovskij, A. A. (1989). Matematichne modulyuvannya ta komp'yuterni sistemi navchannya i trenazha. Moscow: VVIA im. Zhukovskogo, 255. 10. Gmurman, V. E. (2000). Teoriya virogidnosti ta matematichna statistika. Navchalnij posibnik dlya vuziv. Moscow: Vissya shkola, 479.

Надійшла (received) 07.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Григорєцький Володимир Олексійович – кандидат технічних наук, Харківський університет повітряних сил ім. І. Кожедуба; кафедра повітряної навігації та бойового управління авіацією льотного факультету; вул. Сумська 77/79, м. Харків, Україна, 61023; тел.: 050-323-30-21; e-mail: HUPS1954@ukr.net.

Григорєцький Владимир Алексеевич – кандидат технических наук, Харьковский университет воздушных сил им. И. Кожедуба; кафедра воздушной навигации и боевого управления авиацией летного факультета; ул. Сумская 77/79, м. Харьков, Украина, 61023; тел.: 050-323-30-21; e-mail: HUPS1954@ukr.net.

Hryhorskyy Vladimir – Ph.D., University of Kharkiv Air Force University. I. Kozhedub; Department of air navigation and command and control aircraft flight faculty; st. Sums 77/79, Kharkiv, Ukraine, 61023

УДК 656.212.5

Т. Ю. КАЛАШНИКОВА, А. Й. КОСТЯК

УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ СОРТУВАЛЬНОЇ ГІРКИ ЯК ЛАНЦЮГА ПЕРЕВІЗНОГО ПРОЦЕСУ

Проаналізовано основні проблеми у роботі сортувальної гірки. Для скорочення тривалості затримок при виконанні операцій гіркового циклу запропоновано: збільшення швидкості заїзду та насуву гіркового локомотива; скорочення часу розпуску за рахунок спорудження спеціальної колії для вагонів, які не підлягають розпуску з гірки звичайним способом; скорочення тривалості осаджування составів на коліях сортувального парку за рахунок збільшення частки підтягувань вагонів з боку хвостової горловини сортувального парку; проведення додаткових занять з операторами гальмових позицій; збільшення кількості робітників.

Ключові слова: залізничний транспорт, сортувальна станція, сортувальна гірка, простий вагонів, логістичний підхід.

Вступ. Залізничний транспорт у загальній транспортній системі займає головне місце: працює безперервно протягом року і доби, здійснює масове перевезення різних вантажів всіх галузей народного господарства [1]. Провідна роль в успішному вирішенні завдання повного і своєчасного задоволення потреб промисловості і населення в перевезеннях на залізничному транспорті належить станціям, у тому числі і сортувальним [2, 3].

Враховуючи екологічну обстановку, що склалася, а також наслідки крупних аварій і катастроф на залізничному транспорті, можна сказати, що основною умовою при організації будь-якого технологічного процесу є забезпечення вимог безпеки. Зазначимо, що міра безпеки транспортних процесів напряму залежить від кваліфікації працівників і, в першу чергу, оперативного персоналу.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Найважливішими показниками якості перевезення, з точки зору вантажовідправників, є вартість та швидкість доставки. Робота сортувальної станції у взаємодії з прилеглими дільницями безумовно впливає на обидві ці величини [46]. Таким чином, увага приділяється сортувальній гірці, як складовій перевізного процесу, з метою зменшення експлуатаційних витрат та простою вагонів. При цьому дуже важливим є впровадження нових логістичних підходів [7].

Найбільш актуальними проблемами на сортувальних станціях є підвищені енерговитрати на регулювання швидкості скочування відцепів на гальмових позиціях сортувальних гірок, «вікна» на коліях сортувального парку, пошкодження та бій вагонів, неправильний вибір принципів гальмування на сортувальних гірках, відсутність пристроїв для вимірювання швидкості розпуску составів, швидке зношування вагонних уповільнювачів [8].

На підставі статистичних спостережень проведено аналіз простою вагонів по станції Основа на протяжці п'яти років

Динаміку простою транзитних вагонів з переробкою представлено на рис. 1, простою вагонів без переробки- на рис. 2.

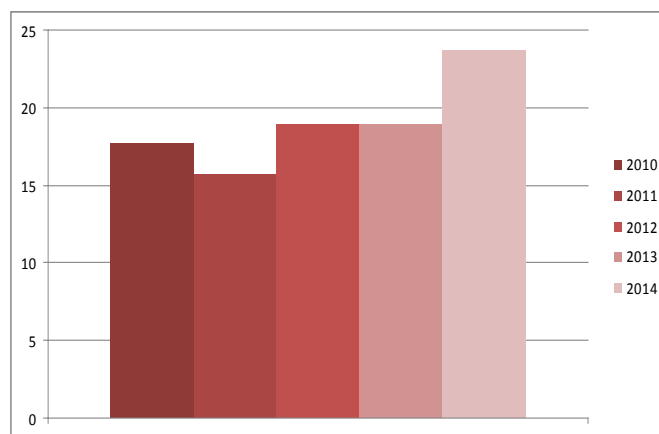


Рис. 1 – Простий транзитних вагонів з переробкою

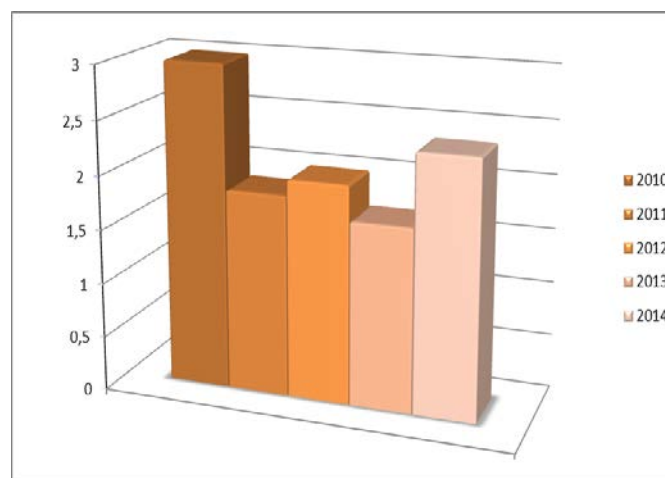


Рис. 2 – Простий вагонів без переробки

При порівнянні простоїв вагонів [9], можна побачити, що з кожним роком вони збільшуються. Це зумовлено зменшенням кількості кваліфікованих робітників та зношенням технічних засобів на станції.

Мета і задачі дослідження. Метою статті є розроблення способів вирішення проблем та заходів, які зменшать тривалість гіркового циклу. Таким чином, це забезпечить скорочення простою вагонів на сортувальній станції, що у свою чергу дозволить зменшити експлуатаційні витрати і збільшити конкурентоспроможність залізничного транспорту в порівнянні з іншими видами транспорту.

Виклад основного матеріалу - розробка заходів підвищення продуктивності роботи сортувальної гірки. Для підвищення продуктивності роботи гірки в першу чергу детального дослідження вимагає кожен складовий елемент гіркового циклу. Так, при виконанні операції заїзду гіркового локомотива під состав виникає ряд затримок через ворожість маршрутів у передгірковій та вхідній горловині парку приймання, в результаті середнє значення тривалості цієї операції відрізняється від нормативного [10], яке розраховане і закладене в технологічний процес роботи станції, збільшуючись до максимального. Повністю ліквідувати затримки неможливо через конструктивні особливості горловин та випадкові збіги ворожих маршрутів, необхідно встановлювати і розробляти заходи щодо їх скорочення.

З метою дослідження тривалості виконання основних операцій гіркового циклу були проведені певні спостереження по станції Основа і встановлено, що відхилення від нормативного значення для заїзду складає 25 %, для операції насуву состава на гірку – 50 %, для операції розпуску – 55 % і для операції осаджування – 75 % (рис. 3) [11].



Рис. 3 – Основні показники відхилень на сортувальній гірці

При аналізі даних відхилень з'ясувалося, що затримки заїзду від гірки до передгіркової горловини повністю залежать від тривалості ворожих маршрутів, а далі, перед вхідною горловиною, у багатьох випадках локомотив очікує звільнення маршруту через суб'єктивні затримки оперативного персоналу (як правило, попереднє відкриття вхідного світлофора для приймання поїзда з переробкою вимагає додаткового очікування) [12]. Деякі автори пропонують врахову-

вати ці затримки до технологічної норми, але це неправильно, тому що після закінчення заїзду у більшості випадків локомотив очікує початку насуву і тоді затримки при заїзді частково або повністю погашаються цими очікуваннями, які виникають через неготовність состава для насуву на гірку (несвоєчасне закінчення технічного та комерційного огляду, ворожість маршрутів у передгірковій горловині, зміна черги насуву з іншої колії оперативним персоналом через відсутність необхідних заключних груп вагонів у даному составі, поточне утримання пристроїв колії і СЦБ та ін.) [13]. Значні відхилення виявляються при розпуску состава. В першу чергу зупинки виникають через появу вагонів, які не підлягають розпуску з гірки, а вимагають додаткових пересувань маневровим локомотивом або розпуску із зменшеною швидкістю і додатковим контролем їх проходження на вільні колії сортувального парку [9, 10]. Число таких відчепів у составі складає від 3 до 8, тобто від 10% до 40 % сумарного числа відчепів. У реальності осаджування і «знімання» практично не здійснюється. В результаті різко зменшується середня швидкість розпуску составів та збільшується тривалість розпуску. Крім цього, 20 % зупинок при розпуску виникає через несправність системи автозчеплень з додатковим втручанням складача поїздів на гірці. Додатково виникають зупинки розпуску через недостатній досвід операторів гальмових позицій, які нераціонально здійснюють режими гальмування, і в результаті не витримуються необхідні інтервали між суміжними відчепами для переведення розділових стрілок на спускній частині гірки [11]. Особливо значні затримки виникають при осаджуванні вагонів після розпуску декількох составів. Ця операція, як правило, виконується на кількох суміжних коліях з додатковими зворотними переміщеннями, які не завжди можливо суміщати з розпуском наступного состава. Окремі чергові по гірці дають команду направляти відчепи, маршрути яких ворожі переїздам з колії на колію при осаджуванні, на неспеціалізовані вільні колії, зменшуючи тривалість очікування. Але такі дії надалі викликають повторне сортування цих відчепів на колії своїх призначень, збільшуючи в цілому середній цикл роботи гірки.

Для скорочення тривалості затримок при виконанні основних операцій гіркового циклу пропонуються наступні заходи:

- збільшення швидкості заїзду гіркового локомотива під состав. Так, від вершини гірки до передгіркової горловини замість 18 км/год (за результатами спостережень) хоча б до 28 км/год; по вільній колії парку приймання – до 42 км/год; по вхідній горловині замість 7 км/год – 17 км/год;

- середню швидкість насуву збільшити з 8 км/год приблизно у 1,5 разу (попередньо прийнявши необхідні заходи щодо безпеки пішоходного руху поблизу Південної сортувальної гірки);

- скоротити час розпуску вагонів за рахунок спорудження спеціальної колії для вагонів, які не підлягають розпуску з гірки звичайним способом;

- скоротити тривалість осаджування составів на коліях сортувального парку за рахунок збільшення частки підтягувань вагонів з боку хвостової горловини сортувального парку;

- проводити додаткові заняття з операторами гальмових позицій для набуття практичних навичок оптимального гальмування відцепів;

- збільшити кількість персоналу для роботи на сортувальній гірці (складачів поїздів, операторів).

Висновки. Стабільність та ефективність функціонування сортувальної станції обумовлена надійною роботою гіркових пристроїв, яка ґрунтується на професіоналізмі обслуговуючого персоналу та справному стані технічного обладнання. Такі заходи у поєднанні із автоматизацією процесу і застосуванням технології на основі використання ПЕОМ та мікропроцесорної техніки дозволять підвищити ефективність роботи сортувальних гірок, збільшити їх переробну спроможність і оптимізувати в цілому технологічний процес роботи станції, а також підвищити безпеку функціонування.

Список літератури: 1. Горяїнов, О. М. Практика вантажних перевезень і логістики : навч. посіб. [Текст] / О. М. Горяїнов. – Х.: Вид-во «Кортес-2001», 2008. – 323 с. 2. Технологічний процес роботи сортувальної станції Основа. 3. Сотников, И. Б. Технология работы сортировочной станции [Текст]: учеб. Пособие (С элементами программ. обучения) / И. Б. Сотников. – М., 1972. 4. Куценко, М. Ю. Пристрої регулювання швидкості відцепів на сортувальних гірках України: вчора, сьогодні, завтра [Текст] / М. Ю. Куценко, О. А. Горбачев // 36. наук. Праць студентів та магістрів УкрДАЗТ. – Х., 2006. – Вип. 74, Ч. 1. – С. 152–156. 5. Ганжело, Л. И. Технико-эксплуатационная эффективность использования ускорителей вагонов на путях сортировочного парка [Текст] / Л. И. Ганжело, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. трудов / ДИИТ. – Д., 1990. – Вып. 277/17. – С. 20–29. 6. Оптимизация технологических процессов на сортировочных станциях и участках: сб. науч. статей / под ред. П. С. Грунтова. – Гомель: БелИИЖТ, 1976. – 71 с. 7. Удосконалення методів оцінки прищільного регулювання на сортувальних гірках з метою підвищення ефективності їх функціонування [Електронний ресурс]. – Дисертація канд. техн. наук: 05.22.20, Дніпропетр. нац. ун-т залізнич. трансп. ім. В. Лазаряна. – Д., 2013. – 210 с. – Режим доступу www.lib.ua. 8. Калашикіна, Т. Ю. Модель забезпечення взаємодії функціонування системи "депо - станція - перегін" [Текст] / Т. Ю. Калашикіна // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. – №2. – С. 67–69. 9. Калашикіна, Т. Ю. Посилення умов взаємодії роботи підсистем технічної станції між собою

та з прилеглими дільницями [Текст] / Т. Ю. Калашикіна, Л. В. Свирідюк // 36. наукових праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 120. – С. 44–47. 10. Калашикіна, Т. Ю. Удосконалення інформаційно – керуючої системи залізниць в умовах інтеперабельності [Текст] / Т. Ю. Калашикіна, Є. М. Кушкін, Є. Д. Кіценко // 36. наук. праць УкрДАЗТ. – 2014. – Вип. 146. 11. Калашикіна, Т. Ю. Адаптивна технологія поїздоутворення [Текст]: дисертація на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук. – Х.: УкрДАЗТ, 2003. – 197 с. 12. Малахова, О. А. Визначення величини простою составів в очікуванні відправлення на сортувальних станціях [Текст] / О. А. Малахова, О. В. Тищенко // 36. наук. пр. НТУ ХПІ. – 2011. – Вип. 58. – С. 99–103.

Bibliography (transliterated): 1. Goryainov, A. M. (2008). Praktika gruzovykh perevozok i logistiki: uchebnoe posobiye. Kharkiv, «Kortess-2001», 323. 2. Tekhnologicheskii protsess raboty sortirovochnoy stantsii Osnova. 3. Sotnikov, I. B. (1972). Tekhnologiya raboty sortirovochnoye stantsii [Tekst]: Uchebnoe posobiye (S elementami programir. Obucheniya) 4. Kutsenko, M. (2006). Ustroystva regulirovaniya skorosti ottsepov na sortirovochnykh gorkakh Ukrainy: vchera, segodnya, zavtra Zbirnik naukovix prac studentov i magistriv Ukrdazt, 74, Kharkiv, 152–156. 5. Ganzhelo, L. I. (1990). Tekhniko-eksploatatsionnaya effektivnost' ispol'zovaniya uskoriteley vagonov na putyakh sortirovochnogo parka .Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sortirovochnogo protsessa na stantsiyakh: Mezhd. sb. nauch. trudov / DIIT, 277 / 17, 20–29. 6. Gruntovaya, P. (1976). Optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov na sortirovochnykh stantsiyakh i uchastkakh. Sbornik nauch. statey, pod red. Gomei' BellIIZHT, 71. 7. Sovershenstvovaniye metodov otsenki pritselnogo regulirovaniya na sortirovochnykh gorkakh s tsel'yu povysheniya effektivnosti ikh funktsionirovaniya. Dissertatsiya kand. tekhn. nauk : 05.22.20, Dnepropetrovsk . nats. un-t zh. transp. im . V. Lazaryana, Rezhim dostupa www.lib.ua, 210. 8. Kalashnikova, T. Y. (2002). Model' obespecheniya vzaimodeystviya funktsionirovaniya sistemy "depo - stantsiya - peregon". Informatsionno-upravlyayushchiye sistemy na zheleznodorozhnom transporte, 2, 67–69. 9. Kalashnikova, T. Yu., Sviridyuk, L. V. (2011). Uzhestocheniye usloviy vzaimodeystviya raboty podsistem tekhnicheskoy stantsii mezhdub soboy i s prilgayushchimi uchastkami. Sb. nauchnykh trudov Ukrdazt, 120. Khar'kov, 44–7. 10. Kalashnikova, T., Kushkin, E., Kicenok, E. (2014). Udokonalennaya informatsionno – keruyuchoi sistemi zaliznic v umovax interoperabelnosti. Zbirnik naukovix prac UkrDAZT, 146, 61–65. 11. Kalashnikova, T. Y. (2003). Adaptivnaya tekhnologiya poizdoutvorenniya. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk Ukrdazt, 197. 12. Malakhova, A. A. (2011). Opredeleniye velichiny prostoya sostavov v ozhidaniy otpravleniya na sortirovochnykh stantsiyakh. Sb. nauk. pr. NTU KHPI, 58, 99–103.

Надійшла (received) 26.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Калашикіна Тат'яна Юрійвна – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри «Управління експлуатаційною роботою»; майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050; тел.: (066) 441-50-42; e-mail: bulavina_ty@ukr.net.

Костяк Анна Йосипівна – студентка, Український державний університет залізничного транспорту, майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050; тел.: (093) 982-71-34; e-mail: kostiak.anna@yandex.ru.

Калашикіна Тат'яна Юрьевна – кандидат технічних наук, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», площадь Фейєрбаха, 7, г. Харьков, 61050; тел.: (066) 441-50-42; e-mail: bulavina_ty@ukr.net.

Костяк Анна Иосифовна – студентка, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, площадь Фейєрбаха, 7, г. Харьков, 61050; тел.: (093) 982-71-34; e-mail: kostiak.anna@yandex.ru.

Kalashnikova Olena – candidate of technical sciences, Associate professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Feuerbach sq, 7 61050; tel.: (066) 441-50-42; e-mail: bulavina_ty@ukr.net

Kostyak Anna – student, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Feuerbach sq, 7 61050; tel. (093) 982-71-34; e-mail: kostiak.anna@yandex.ru

УДК 621.391

С. И. ОСАДЧИЙ, Е. Я. КУЗНЕЦОВА, В. А. ЗУБЕНКО, Е. П. ГОЛИК

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ МЯГКОГО ДЕКОДИРОВАНИЯ КАСКАДНЫХ КОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ИТЕРАТИВНЫМ ОБМЕНОМ МЯГКИМИ РЕШЕНИЯМИ

В статье рассматриваются каскадные кодовые конструкции на основе схем произведений линейных блочных кодов (турбопродуктивные коды, Turbo Product Codes). Исследуются методы декодирования с мягкой схемой принятия решений и процедуры обмена мягкими решениями в алгоритмах турбо декодирования. Предлагается усовершенствованный метод мягкого декодирования каскадных кодовых конструкций с итеративным обменом мягких решений. Результаты исследований могут быть использованы при разработке телекоммуникационных систем и технологий, а также при изучении учебных дисциплин по теории передачи данных, теории информации и помехоустойчивому кодированию.

Ключевые слова: каскадные кодовые конструкции, турбопродуктивные коды, помехоустойчивость передачи, метод мягкого декодирования

Введение. Достижение конкурентоспособности отечественных телекоммуникационных систем и систем связи требует с одной стороны снижения мощности передатчика, экономии полосы частот, увеличения дальности связи, способности работать при малых соотношениях «сигнал-шум», а с другой – повышения достоверности передачи информации.

Одним из путей достижения компромисса между этими противоречивыми требованиями является повышение эффективности помехоустойчивого кодирования. Перспективным направлением в развитии теории помехоустойчивого кодирования являются каскадные кодовые конструкции [1-4]. Их использование позволяет применить итеративный обмен мягкими решениями и достичь близкой к теоретическому пределу энергетической эффективности и при этом снизить сложность программной и аппаратной реализации.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. В работах [5, 6] в результате проведенных исследований теоретически обоснованы и аналитически получены каскадные кодовые конструкции с улучшенными свойствами. Предложены алгебраические процедуры синтеза разработанных каскадных кодовых конструкций с использованием недрвоичных блочных кодов: кодов Рида Соломона и алгеброгеометрических кодов. Разработанные алгебраические процедуры позволяют практически реализовать синтез предлагаемых каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами. Перспективным направлением дальнейших исследований является разработка алгоритмов декодирования предлагаемых каскадных кодовых конструкций с мягкими решениями, исследование возможности обмена мягкими решениями в итеративно процедуре турбо-продуктивного декодирования.

Проведенный анализ известных подходов к построению схем декодирования линейных блочных кодов с мягкими решениями показал, что существующие методы реализуют одно из оптимальных правил:

– правило минимизации вероятности ошибочного декодирования принятой последовательности (кодированного слова линейного блочного кода с возможной ошибкой) [2, 3];

– правило минимизации средней вероятности ошибочного декодирования символов принятой последовательности [6, 7].

Основная классификация этих методов приведена на рис. 1.

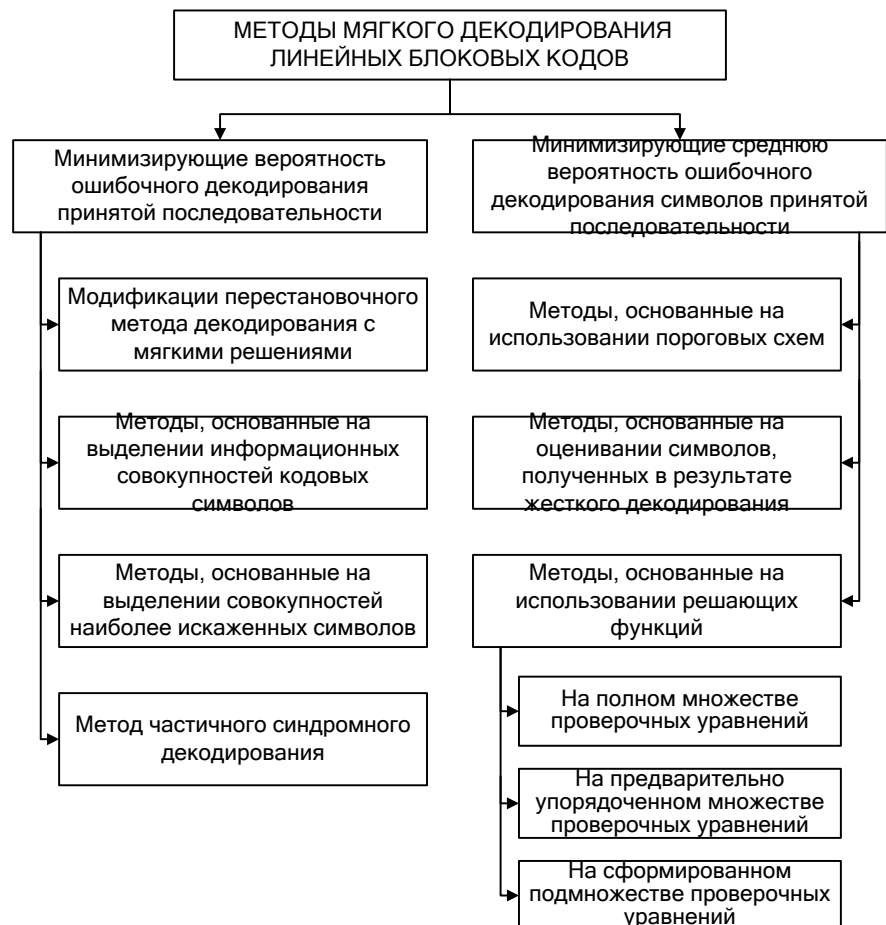


Рис. 1 – Методы мягкого декодирования линейных блочных кодов

Методы декодирования, основанные на минимизации вероятности ошибочного декодирования принятой последовательности, заключаются в сопоставлении одного из кодовых слов линейного блокового кода принятой последовательности по критерию минимизации расстояния Хемминга между ними. Это правило позволяет реализовать декодер максимально правдоподобия, т.е. достигается максимальная вероятность принятой последовательности и сопоставленного ей кодового слова, а вероятность ошибочного декодирования принятой последовательности при таком подходе минимизируется.

Методы мягкого декодирования, оптимальные по второму правилу, т.е. методы, минимизирующие среднюю вероятность ошибочного декодирования символов принятой последовательности нашли широкое практическое применение в схемах турбо-декодирования и, в этом смысле, наиболее востребованы в последние годы. Это объясняется возможностью использования полученных мягких решений о достоверности символов принятой последовательности для обмена в каскадных кодовых конструкциях и использовании аналогичных мягких решений, полученных с другой ступени применяемого каскада для уточнения решения на следующей итерации декодирования. В этом, по сути, и заключается сам принцип турбо-декодирования (рис. 2).

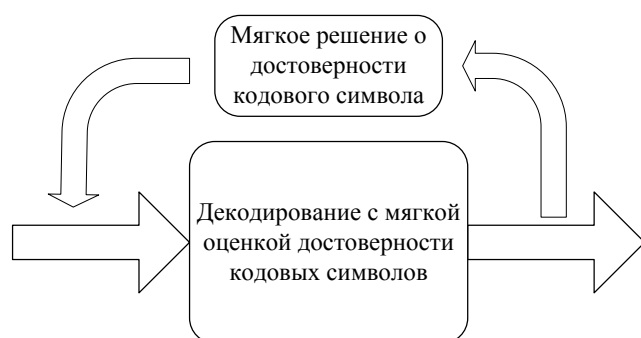


Рис. 2 – Схема мягкого декодирования с итеративным обменом мягких решений о достоверности символов принятой последовательности (схема турбо-декодера)

Реализация мягкого декодирования с итеративным обменом мягких решений о достоверности символов принятой последовательности (схема турбо-

декодера) предполагает использование демодулятора с выработкой решений по мягкой схеме. Алгоритм мягкого декодирования, минимизирующий среднюю вероятность ошибочного декодирования символов принятой последовательности, выдает мягкое решение о достоверности декодированного символа. Полученное решение поступает на вход следующей итерации мягкого декодирования (например, кода другой ступени каскадной конструкции) и «уточняет» мягкое решение, полученное с выхода демодулятора. Таким образом, итеративная схема турбо-декодирования за счет многократной пошаговой процедуры «уточнения» мягких решений позволяет значительно повысить достоверность принимаемых символов кодовой последовательности.

Проведенный анализ показал, что на сегодняшний день методы мягкого декодирования линейных блоковых кодов позволяют реализовать исправление ошибок в принятой последовательности по критерию минимизации вероятности ошибочного декодирования последовательности и/или по критерию минимизации средней вероятности ошибочного декодирования символов принятой последовательности. В итеративных схемах декодирования каскадных кодов с обменом мягких решений используется вторая группа методов, поскольку их реализации позволяет получить оценку символа с минимизированной ошибкой декодирования. В табл. 1 приведены результаты сравнительных исследований рассмотренных методов декодирования с указанием емкостной (затраты памяти для реализации алгоритма) и временной (затраты времени для выполнения алгоритма) сложности реализации, энергетической эффективности (достижимый энергетический выигрыш от кодирования) и особенностей построения кода (например, методы, основанные на мажоритарных схемах могут быть реализованы только для кодов, допускающих полную ортогонализацию).

Анализ табл. 1 показывает, что для линейных блоковых кодов с произвольной алгебраической структурой наиболее эффективные по достигаемому энергетическому выигрышу являются методы декодирования, основанные на использовании решающих функций. В тоже время, следует отметить их высокую вычислительную сложность [1, 2, 7, 9].

Таблица 1 – Результаты сравнительных исследований методов декодирования, минимизирующих среднюю вероятность ошибочного декодирования символа принятой последовательности

	Методы декодирования	Сложность реализации		Энергетическая эффективность	Особенности построения кода
		Емкостная сложность	Временная сложность		
1.	На основе пороговых (мажоритарных) схем	Очень низкая	Очень низкая	Высокая	Полная ортогонализация кода
2.	На основе оценивания символов после жесткого декодирования	Низкая	Средняя	Средняя	Нет
3. На основе использования решающих функций:					
3.1.	На полном множестве проверочных уравнений	Очень высокая	Высокая	Высокая	Нет
3.2.	На предварительно упорядоченном множестве проверочных уравнений	Очень высокая	Очень высокая	Очень высокая	Нет
3.3.	На сформированном подмножестве проверочных уравнений	Высокая	Очень высокая	Средняя	Нет

Сложность реализации методов декодирования, основанных на использовании решающих функций, с ростом длины кода и увеличением исправляющей способности кода возрастает. Снизить сложность декодирования удастся при использовании решающих функций, определенных на предварительно сформированном подмножестве проверочных уравнений. В тоже время это снижение приводит так же к снижению энергетического выигрыша [1,2,6,7].

Таким образом, актуальным направлением исследований является разработка (усовершенствование) методов декодирования с мягкими решениями на основе решающих функций, которые, без значительного снижения энергетического выигрыша от кодирования позволили бы существенно снизить сложность практической реализации. Перспективным направлением в этом смысле является формирование упорядоченных подмножеств проверочных уравнений и методов декодирования на их основе.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является повышение помехоустойчивости передачи дискретных сообщений на основе использования каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами.

Задачей исследования является разработка методов построения и декодирования каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами для повышения помехоустойчивости передачи дискретных сообщений.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Усовершенствовать метод построения каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами.
2. Усовершенствовать метод декодирования, разработать вычислительные алгоритмы декодирования каскадных кодовых конструкций с итеративным обменом мягкими решениями.

Материалы и методы исследования мягкого декодирования каскадных кодовых конструкций. Теоретическую основу методов мягкого декодирования составляет критерий проверки гипотез, математическое обоснование которого основано на формуле полной вероятности и теореме Байеса.

Объектом исследования является процесс повышения помехоустойчивости передачи дискретных сообщений с использованием каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами.

Предметом исследования являются методы построения и декодирования каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами.

Рассмотрим случай для двух сигналов. Пусть двоичные логические элементы 1 и 0 представляются сигналами $S_1 = 1$ и $S_2 = -1$. На рис. 3 показана условная функция распределения вероятностей при передаче сигнала по каналу AWGN, представленная как функция правдоподобия.

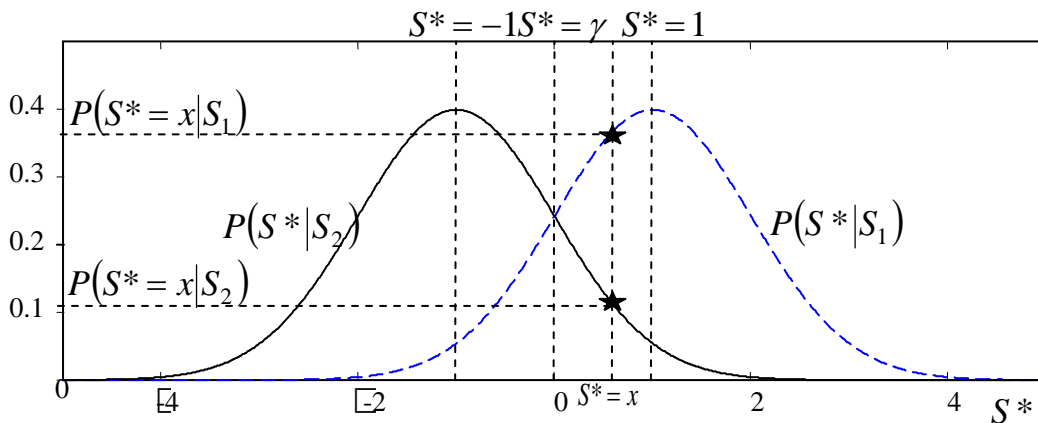


Рис. 3 – Функции правдоподобия

Функция, изображенная справа, $P(S^*|S_1)$, представляет функцию распределения вероятностей непрерывной случайной переменной S^* , которая передается при условии, что принят сигнал S_1 . Функция, изображенная слева, $P(S^*|S_2)$, в свою очередь, представляет ту же функцию распределения вероятностей непрерывной случайной переменной S^* , которая передается при условии, что принят сигнал S_2 . На оси абсцисс показан полный диапазон возможных значений непрерывной случайной переменной S^* , которая образуется в приемнике.

Таким образом, вещественным представлением мягкого решения на входе декодера является логарифм отношения функций правдоподобия $\ln F$

$$\ln F = \ln \left(\frac{P(S_1)}{P(S_2)} \right) + \ln \left(\frac{P(S^*|S_1)}{P(S^*|S_2)} \right), \quad (1)$$

причем первое слагаемое в правой части равенства является логарифмом отношений априорных вероятностей $P(S_1)$ и $P(S_2)$, обозначим его

$$L_s(S_1, S_2) = \ln \left(\frac{P(S_1)}{P(S_2)} \right), \quad (2)$$

а второе слагаемое – суть логарифм отношения апостериорных вероятностей $P(S^*|S_1)$ и $P(S^*|S_2)$:

$$L_{DS}(S_1, S_2) = \ln \left(\frac{P(S^*|S_1)}{P(S^*|S_2)} \right) \quad (3)$$

как результат канальных измерений в приемнике.

Т.о. логарифм отношения функций правдоподобия $L_{FS} = \ln F$ перепишем в виде

$$L_{FS}(S_1, S_2) = L_S(S_1, S_2) + L_{DS}(S_1, S_2). \quad (4)$$

Предположим, как и прежде, что при передаче информации используется два сигнала ($S_1 = 1$ и $S_2 = -1$) и соответствующие им двоичные кодовые символы $C_1 = 1$ и $C_2 = 0$.

В [8] показано, что для систематических кодов мягкое решение на выходе декодера (в логарифмическом масштабе) о принятом символе записывается в виде выражения:

$$L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2) = L_{FS}(S_1, S_2) + L_{DK}(c_1, c_2), \quad (5)$$

где $L_{BK}(C_1, C_2)$ - логарифм отношения функций правдоподобия о принятом символе, полученный в результате декодирования.

Подставляя (4) в (5) получим:

$$L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2) = L_S(S_1, S_2) + L_{DS}(S_1, S_2) + L_{DK}(c_1, c_2), \quad (6)$$

т.е. мягкое решение на выходе декодера зависит от трех величин: $L_S(S_1, S_2)$ - логарифм отношения априорных вероятностей сигналов S_1 и S_2 ; $L_{DS}(S_1, S_2)$ - логарифм отношения апостериорных вероятностей сигналов S_1 и S_2 (результат канальных измерений) и $L_{BK}(C_1, C_2)$ - логарифм отношения функций правдоподобия двоичных кодовых символов C_1 и C_2 как результат декодирования.

Чтобы получить $L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2)$, нужно просуммировать отдельные вклады, поскольку все три компонента статистически независимы [8]. Мягкий выход декодера $L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2)$ является вещественным числом, обеспечивающим как само принятие жесткого решения, так и его надежность. Знак $L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2)$ задает жесткое решение, т.е.:

$$c_i = \begin{cases} C_1 = 1, & \text{если } L_{FDK}(S_1, S_2, c_1, c_2) > 0 \\ C_2 = 0, & \text{если } L_{FDK}(S_1, S_2, c_1, c_2) < 0 \end{cases}, \quad (7)$$

где c_i - значение i -го бита, соответствующее принимаемому решению.

Собственное значение $L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2)$ определяет надежность принимаемого решения.

Как правило, величина $L_{BK}(C_1, C_2)$ имеет тот же знак что и $L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2)$, что повышает, таким образом, надежность принимаемого решения.

Для статистически независимых величин x и y сумма двух логарифмических отношений правдоподобия $L(x)$ и $L(y)$ определяется следующим выражением:

$$L(x)[+]L(y) = L(x \oplus y) = \ln \left[\frac{e^{L(x)} + e^{L(y)}}{1 + e^{L(x)}e^{L(y)}} \right] \approx (-1) \times \text{sgn}[L(x)] \times \text{sgn}[L(y)] \times \min(|L(x)|, |L(y)|), \quad (8)$$

где функция $\text{sgn}[z]$ возвращает знак своего аргумента z , а знак " \oplus " применяется для обозначения суммы по модулю 2 данных, представленных двоичными цифрами. Знак $[+]$ используется для обозначения суммы логарифмов функций правдоподобия, который определяется как логарифм функции правдоподобия суммы по модулю 2 соответствующих аргументов.

Во время первой итерации на таком декодере (см. рис. 2), данные считаются равновероятными, что дает начальное априорное значение $L_S(S_1, S_2) = 0$ в уравнении (6). Канальное измерение дает значение $L_{DS}(S_1, S_2)$, которое получается путем взятия логарифма отношения величин $P(S^* = x | S_1)$ и $P(S^* = x | S_2)$ для определенных значений x (см. рис. 3) и является вторым членом уравнения (6). Выход декодера $L_{BK}(C_1, C_2)$ представляет собой сведения, вытекающие из процесса декодирования. Для итеративного декодирования, как показано на рис. 2, внешнее правдоподобие подается обратно на вход (другого составного декодера) для обновления априорной вероятности информации следующей итерации, т.е. производится обновление априорной вероятности:

$$L_S(S_1, S_2) = L_{DK}(C_1, C_2).$$

Таким образом, решение при финальном декодировании каждого символа кодовой последовательности и сведения о его надежности зависят от величины $L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2)$. Основываясь на уравнении (7) запишем алгоритм, дающий оценку мягкого выхода декодера $L_{BK}(C_1, C_2)$ и результирующую оценку $L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2)$.

1. Устанавливаем $L_S(S_1, S_2) = 0$.
2. Декодируем с мягким решением первый составной код, т.е. находим мягкое решение $L_{BK}(C_1, C_2)$.
3. На основании уравнения (6) вычисляем $L_{BK}(C_1, C_2) = L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2) - L_S(S_1, S_2) - L_{DS}(S_1, S_2)$.
4. Для следующего составного кода устанавливаем $L_S(S_1, S_2) = L_{DK}(C_1, C_2)$.
5. Декодируем с мягким решением следующий составной код, т.е. находим мягкое решение $L_{BK}(C_1, C_2)$.
6. Для всех составных кодов повторяем шаги 3-5.
7. Результатом турбодекодирования является жесткое решение о кодовом символе c по выражению (7) на основании полученного на последнем шаге мягкого решения $L_{FDK}(S_1, S_2, C_1, C_2)$.

Таким образом, как показывает анализ приведенного алгоритма, основной задачей при реализации турбодекодирования является разработка эффективных процедур мягкого декодирования составных кодов, т.е. разработка процедур вычисления мягкого решения $L_{BK}(C_1, C_2)$ для итеративной процедуры обмена в процессе турбодекодирования.

Исследуем процедуры нахождения мягкого решения $L_{DK}^c(C_1, C_2)$ на выходе декодера, проанализируем возможные пути вычисления последнего слагаемого в правой части равенства (6) - логарифма отношения функций правдоподобия двоичных кодовых символов C_1 и C_2 как результат декодирования.

Рассмотрим линейный блочный (n, k, d) код над конечным полем $GF(2)$. Линейный код, как подпространство $GF^k(2) \subseteq GF^n(2)$, задается порождающей матрицей G , строки которой образуют базис линейного пространства $GF^k(2)$. По определению, для каждого линейного кода существует ортогональное дополнение - подпространство $GF^{n-k}(2) \subseteq GF^n(2)$, все элементы которого ортогональны элементам из $GF^k(2)$. Базис линейного пространства $GF^{n-k}(2)$ задается проверочной матрицей H , причем из условия взаимной ортогональности следует равенство

$$GH^T = 0,$$

где под «0» понимается $k \times r$ матрица нулевых элементов $GF(2)$.

Последнее равенство запишем в виде

$$cH^T = 0,$$

где $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$ - произвольное кодовое слово рассматриваемого линейного блочного (n, k, d) кода, т.е. $c \in GF^k(2)$, $c_i \in [0, 1]$.

Принимая во внимание тот факт, что все элементы $GF^{n-k}(2)$ могут быть выражены через линейную комбинацию строк проверочной матрицы H имеем:

$$ch_i^T = 0,$$

где $h_i = (h_{i0}, h_{i1}, \dots, h_{i,n-1})$ - произвольный вектор, полученный линейной комбинацией строк матрицы H , $i = 0, 1, \dots, 2^{n-k} - 1$.

Другими словами, последнее равенство выполняется для всех 2^{n-k} векторов из $GF^{n-k}(q)$ и имеем систему проверочных уравнений:

$$\begin{cases} c_0 h_{i0} + c_1 h_{i1} + \dots + c_{n-1} h_{i,n-1} = 0; \\ c_0 h_{i0} + c_1 h_{i1} + \dots + c_{n-1} h_{i,n-1} = 0; \\ \dots \\ c_0 h_{(2^{n-k}-1)_0} + c_1 h_{(2^{n-k}-1)_1} + \dots + c_{n-1} h_{(2^{n-k}-1)_{n-1}} = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Предположим теперь, что кодовое слово $c = (c_0, c_1, \dots, c_{n-1})$ принимается по критерию максимума апостериорной вероятности, т.е. получены значения логарифмов отношения апостериорных вероятностей $P(S^*|S_1)$ и $P(S^*|S_2)$:

$$L_{DS}(S^*|S_1, S_2) = \ln \left(\frac{P(S^*|S_1)}{P(S^*|S_2)} \right)$$

о каждом кодовом символе c_j , $j = 0, 1, \dots, n-1$ как результат канальных измерений соответствующих сигналов в приемнике.

Логарифмы отношений априорных вероятностей $P(S_1)$ и $P(S_2)$, соответствующие каждому из кодовых символов c_j , $j = 0, 1, \dots, n-1$ обозначим

$$L_{S_j} = \ln \left(\frac{P(S_1)}{P(S_2)} \right).$$

Тогда, с учетом (6) и правила (8) для i -го проверочного уравнения имеем:

$$L_{DK_i}(c_j) = \begin{cases} (L_S(c_0) + L_{DS}(c_0))h_{i0} [+](L_S(c_1) + L_{DS}(c_1))h_{i1} [+]\dots[+] \\ [+](L_S(c_{j-1}) + L_{DS}(c_{j-1}))h_{i,j-1} [+](L_S(c_{j+1}) + L_{DS}(c_{j+1}))h_{i,j+1} [+]\dots[+] \\ [+](L_S(c_{n-1}) + L_{DS}(c_{n-1}))h_{i,n-1} = \sum_{\substack{l=0 \\ l \neq j}}^{n-1} (L_S(c_l) + L_{DS}(c_l))h_{il} & \text{если } h_{ij} = 1; \\ (L_S(c_0) + L_{DS}(c_0))h_{i0} [+](L_S(c_1) + L_{DS}(c_1))h_{i1} [+]\dots[+] \\ [+](L_S(c_{n-1}) + L_{DS}(c_{n-1}))h_{i,n-1} = \sum_{l=0}^{n-1} (L_S(c_l) + L_{DS}(c_l))h_{il} & \text{если } h_{ij} = 0, \end{cases} \quad (10)$$

где суммирование «[+]» и « \sum » ведется по правилу сложения логарифмов правдоподобия, т.е. по выражению (9).

Если предположить, что все оценки $L_{DK_i}(c_j)$, $j = 0, 1, \dots, n-1$ статистически независимы (например, при взаимной ортогональности проверочных уравнений), то результирующая оценка $L_{DK}(c_j)$ запишется в виде:

$$L_{DK}(c_j) = \sum_{i=0}^{2^{n-k}-1} L_{DK_i}(c_j), \quad (11)$$

где суммирование производится по обычному арифметическому правилу сложения вещественных чисел.

Мягкий выход декодера $L_{FDK}(j) = \sum_{DK} \{ L_{DK}(c_j) \}$ является вещественным числом, и определяется по выражению (6):

$$\begin{aligned} L_{FDK}(j) &= c_s(j) + c_{DS}(j) + c_{DK}(j) = \\ &= L_{S_j} + L_{DS}(j) + \sum_{i=0}^{2^{n-k}-1} L_{DK_i}(j) \end{aligned} \quad (12)$$

Знак $L_{FDK}(j)$ задает жесткое решение по правилу (7):

$$c_j = \begin{cases} C_1 = 1, & \text{если } L_{FDK}(c_j) > 0 \\ C_2 = 0, & \text{если } L_{FDK}(c_j) < 0 \end{cases}$$

Выражения (10), (11) и (12) задают решающую функцию, основанную на использовании логарифмов отношения функций правдоподобия принимаемых сигналов (вычисленных с использованием априорных и апостериорных вероятностей), а так же логарифма

отношения функций правдоподобия двоичных кодовых символов в результате декодирования. Соответствующая сумма (11) задает решающую функцию, основанную только на использовании результата декодирования.

Раскрывая знак суммирования по правилу (10), получим, что выражение (11) содержит 2^{n-k} слагаемых, каждое из которых представляет результат суммирования n логарифмов правдоподобия кодовых символов. В свою очередь, логарифмы правдоподобия кодовых символов – суть сумма логарифмов правдоподобия принимаемых сигналов (вычисленных с использованием априорных и апостериорных вероятностей). Сходимость в этом случае с известными положениями теории помехоустойчивого кодирования подтверждает достоверность и адекватность полученных результатов.

Результаты исследования методов мягкого декодирования каскадных кодовых конструкций с итеративным обменом мягкими решениями. Полученные результаты исследования методов декодирования с итеративным обменом мягкими решениями позволяют формализовать вычислительный алгоритм турбо-декодирования каскадных кодов (турбо-продуктивных кодов). Перспективным направлением дальнейших исследований является экспериментальная проверка эффективности предложенных методов декодирования, оценка достигаемого энергетического выигрыша от турбо-продуктивного кодирования при использовании итеративного обмена мягкими решениями и упорядоченных подмножеств проверочных уравнений линейных блоковых кодов.

Обсуждение результатов исследования методов мягкого декодирования каскадных кодовых конструкций с итеративным обменом мягкими решениями. Проведенный анализ известных подходов к построению схем декодирования линейных блоковых кодов с мягкими решениями показал, что существующие методы реализуют одно из оптимальных правил: правило минимизации вероятности ошибочного декодирования принятой последовательности; правило минимизации средней вероятности ошибочного декодирования символов принятой последовательности.

Реализация мягкого декодирования с итеративным обменом мягких решений о достоверности символов принятой последовательности (схема турбо-декодера) предполагает использование методов мягкого декодирования, минимизирующих среднюю вероятность ошибочного декодирования на символ. Итеративная схема турбо-декодирования за счет многократной пошаговой процедуры «уточнения» мягких решений позволяет значительно повысить достоверность принимаемых символов и снизить таким образом вероятность ошибочного декодирования.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено:

1. Усовершенствован метод построения каскадных кодовых конструкций с улучшенными свойствами, который отличается от известных предложенных

ми алгебраическими процедурами синтеза и аналитического описания составных блоковых кодов, что позволяет обобщить синтезируемые каскадные конструкции на случай недвоичных последовательностей с возможностью использования методов декодирования с итеративным обменом мягкими решениями.

2. Усовершенствован метод мягкого декодирования каскадных кодовых конструкций с итеративным обменом мягких решений и разработан алгоритм декодирования, который отличается от известных методов ускоренной процедурой отбора проверочных уравнений с наиболее достоверными символами, что позволяет реализовать декодирование кодовых слов по критерию минимизации ошибочного приема кодовых символов и ускорить процесс турбо-декодирования каскадных кодов.

Список литературы: 1. Блейхут, Р. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки [Текст] / Р. Блейхут; пер. с англ. И. И. Грушко, В. М. Блиновский; под ред. К. Ш. Зигангирова. – М.: Мир, 1986. – 576 с. 2. Кларк, Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи [Текст] / Дж. Кларк, мл., Дж. Кейн; пер. с англ. Гельфанд С. И. – М.: Радио и связь. – 1987. – 392 с. 3. Кузьмин, И. В. Основы теории шифрования и кодирования [Текст] / И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус. – К.: Вища школа, 1986. – 238 с. 4. Проективання інформаційних систем [Текст]: посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / Пономаренко В. С., Пушкар О. І., Журавльова І. В., Мінухін С. В. – К.: ВЦ «Академія», 2002. – 496 с. 5. Приходько, С. И. Разработка каскадных кодов с улучшенными свойствами [Текст] / С. И. Приходько, С. А. Гусев, В. А. Зубенко // Системы обработки информации. – Х. ХУПС, 2011. – Вып. 2 (92). – С. 119–128. 6. Кузнецов, А. А. Мягкое декодирование каскадных кодов произведений с использованием упорядоченных подмножеств проверочных уравнений [Текст] / А. А. Кузнецов, С. И. Приходько, С. А. Гусев, В. А. Зубенко // Системы обработки информации. – Х. ХУПС, 2011. – Вып. 4 (94). – С. 137–145. 7. Мак-Вильямс, Ф. Дж. Теория кодов, исправляющих ошибки / Ф. Дж. Мак-Вильямс, И. Дж. А. Слоэн. – М.: Связь, 1979. – 744 с. 8. Склар, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Склар. – М.: Изд. Дом «Вильямс», 2003. – 1104 с. 9. Блох, Э. Л. Обобщенные каскадные коды (Алгебраическая теория и сложность реализации) [Текст] / Э. Л. Блох, В. В. Зяблов. – М.: Связь, 1976. – 240 с. 10. Злотник, Б. М. Помехоустойчивые коды в системах связи [Текст] / Б. М. Злотник. – М.: Радио и связь, 1989. – 232 с. 11. Прокус, Дж. Цифровая связь [Текст] / Дж. Прокус; [пер. с англ.; под ред. Д. Д. Кловского]. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

Bibliography (transliterated): 1. Bleikhut, R. per. s anhl. Y. Y. Hrushko, V. M. (1986). Blynovskiy; pod red. K. Sh. Zyhanhyrova. Teoriya y praktyka kodov, kontrolyruyushchykh oshyby. Moscow: Mir, 576. 2. Klark, Dzh. ml., Kein, Dzh.; per. s anhl. Helfand, S. Y. (1987). Kodyrovanye s yspravlenyem oshybok v systemakh tsyfrovoy svyazy. Stat. teoriya svyazy. Moscow. Radyo y svyaz, 28, 392. 3. Kuzmyn, Y. V., Kedrus, V. A. (1986). Osnovi teoryy shyrovaniya y kodyrovaniya. Kiev: Vyshcha shkola, 238. 4. Ponomarenko, V. S., Pushkar, O. I., Zhuravlova, I. V., Minukhin, S. V. (2002). Proektuvannya informatsiynikh system posib. [dlya stud. vyshch. navch. zakl.]. Kiev: VTs «Akademiiia», 496. 5. Prykhodko, S. Y., Husev, S. A., Zubenko, V. A. (2011). Rozrobotka kaskadnykh kodov s uluchshennymy svoistvamy. Systemy obrobky informatsii. Kharkov. KhUPS, 2 (92), 119–128. 6. Kuznetsov, A. A., Prykhodko, S. Y., Husev, S. A., Zubenko, V. A. (2011). Miahkoe dekodyrovanye kaskadnykh kodov-proyzedenyi s yspolzovanyem uporiadochennykh podmnozhestv proverochnykh uravneniy. Systemy obrobky informatsii. Kharkov. KhUPS, 4 (94), 137–145. 7. Mak-Vyliame, F. Dzh., Y. Dzh. A. Sloen. (1979). Teoriya kodov, yspravliaiushchykh oshyby. Moscow: Sviaz, 744. 8. Sklia, B. (2003). Tsyfrovaia sviaz. Teoretycheske osnovi y praktycheske prymenenye. Moscow: Yzd. Dom «Vyliame», 1104. 9. Blokh, E. L., Ziablov, V. V. (1976). Obobshchennye kaskadnye kodi. Moscow: Sviaz, 240. 10. Zlotnyk, B. M. (1989). Pomekhoustoichyvie kodi v systemakh svyazy. Moscow: Radyo y svyaz, 232. 11. Prokys, Dzh., per. s anhl.; pod red. Klovskoho, D. D. (2000). Tsyfrovaia sviaz. Moscow: Radyo y svyaz, 800.

Поступила (received) 08.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Осадчий Сергій Іванович - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Кафедра автоматизації виробничих процесів, Кіровоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8. м. Кіровоград, 25006, конт. тел.: (095) 318-52-52. e-mail: srg2005@ukr.net

Осадчий Сергей Иванович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, Кафедра автоматизации производственных процессов, Кировоградский национальный технический университет, пр. Университетский, 8. г. Кіровоград, 25006, конт. тел. : (095) 318-52-52. e-mail: srg2005@ukr.net

Osadchy Sergei - PhD, Professor, Head of Department, Department of automation of production processes, Kirovograd National Technical University, pr. University, 8 m. Kirovograd, 25006.

Кузнецова Елена Яковлевна - доктор педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой, Кафедра теоретической и прикладной физики, Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03680, конт. тел.: 066-710-46-93, e-mail: elena2055@ukr.net

Кузнецова Елена Яковлевна - доктор педагогических наук, доцент, заведующий кафедрой, Кафедра теоретической и прикладной физики, Национальный авиационный университет, пр. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680.

Kuznetsova Olena - Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of Department Department of Theoretical and Applied Physics, National Aviation University, ave. Kosmonavta Komarova 1, Kyiv, Ukraine, 03680

Зубенко Валентина Александровна - кандидат технических наук, доцент, Кафедра автоматизации производственных процессов, Кировоградский национальный технический университет, пр. Университетский, 8. г. Кіровоград, 25006, конт. тел.: (066) 833-71-17. e-mail: zub_valya@ukr.net

Зубенко Валентина Александровна - кандидат технічних наук, доцент, Кафедра автоматизації виробничих процесів, Кіровоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8. г. Кіровоград, 25006, конт. тел. : (066) 833-71-17. e-mail: zub_valya@ukr.net

Zubenko Valentina - Ph.D., Associate Professor, Department of automation of production processes, Kirovograd National Technical University, pr. University, 8 g .. Kirovograd, 25006.

Голик Елена Петровна - кандидат технических наук, доцент, Кафедра автоматизации производственных процессов, Кировоградский национальный технический университет, пр. Университетский, 8. г. Кіровоград, 25006, конт. тел.: (066) 520-19-40. e-mail: dego@ukr.net

Голик Елена Петровна - кандидат технічних наук, доцент, Кафедра автоматизації виробничих процесів, Кіровоградський національний технічний університет, пр. Університетський, 8. м. Кіровоград, 25006, конт. тел.: (066) 520-19-40. e-mail: dego@ukr.net

Golik Elena Petrovna - Ph.D., Associate Professor, Department of automation of production processes, Kirovograd National Technical University, pr. University, 8 g .. Kirovograd, 25006

УДК 539.3.01

Э. Б. КУЛИЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ НЕОДНОРОДНОЙ ПОЛУПЛОСКОСТИ, ОСЛАБЛЕННОЙ КРУГОВОЙ ПОЛОСТЬЮ, ПРИ ДЕЙСТВИИ КУСОЧНО-РАСПРЕДЕЛЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ПРЯМОЛИНЕЙНОЙ ГРАНИЦЕ ПОЛУПЛОСКОСТИ

В представленной статье решена неоднородная задача для полуплоскости с круговой полостью при действии равномерно-распределенной нагрузки на прямолинейной границе полуплоскости. Задача решена методами теории функций комплексного переменного (теория рядов Лорана, метод Н. И. Мусхелешвили) в сочетании с проекционным методом Бубнова-Галеркина. В конечном итоге, при конкретных физических и геометрических параметрах двухсвязной неоднородной полуплоскости представлена численная реализация полученных решений и построены эпюры окружных напряжений для нулевого и первого приближений.

Ключевые слова: неоднородная полуплоскость, комплексные потенциалы, ряды Лорана, метод последовательных приближений, окружные напряжения.

Введение. Развитие современного строительства тесно связано с методами определения и исследования напряженно-деформированного состояния конструкций и сооружений.

Как известно, развитие городского транспортно-строительства также связано с проектированием и строительством подземных сооружений и тоннелей. Проектирование и строительство подземных сооружений и тоннелей в свою очередь обуславливает усовершенствование существующих и создание новых методов расчета подобных сооружений. Как показывает практика эксплуатации подземных сооружений, реальные конструкции существенно отличаются от расчетной. В связи с этим, актуальным направлением

в теории сооружений является разработка и внедрение в инженерную практику методов и алгоритмов, которые учитывали бы реальные физико-механические свойства материала вокруг тоннеля. Следует отметить, что определение напряженно-деформированного состояния многосвязной неоднородной полуплоскости, моделирующей тоннели, представляет практический интерес для инженерного проектирования конструкций и сооружений. Учет неоднородности породы массива полуплоскости, представленный в виде изменяющегося по глубине массива полуплоскости модуля деформации, более реально отражает свойства материала вокруг тоннеля.

© Э. Б. Кулиев. 2015

Постановка задачи и решение

В данной статье рассматривается плоская задача для неоднородной полуплоскости, ослабленная круговой полостью, при действии кусочно-распределенной нагрузки на прямолинейной границе полуплоскости. Двухсвязная область неоднородной полуплоскости извне ограничена прямолинейной границей L_0 , а изнутри – круговым контуром L_1 , расположенный с эксцентриситетом h . На определенном участке прямолинейной границы L_0 действует равномерно-распределенная нагрузка P (рис. 1).

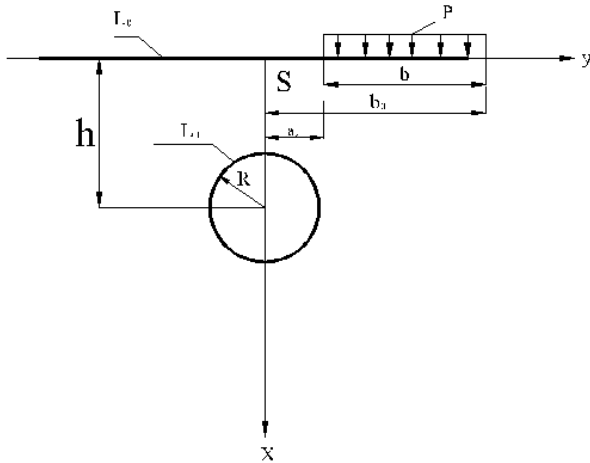


Рис. 1 – Схема участка прямолинейной границы L_0 , на которую действует равномерно-распределенная нагрузка

Плоская неоднородная задача решается методом последовательных приближений при помощи пары комплексных потенциалов:

$$\phi(z) = \sum_{n=0}^N \phi_n(z); \quad \chi(z) = \sum_{n=0}^N \chi_n(z). \quad (1)$$

В нулевом приближении решается однородная упругая задача с заданной внешней нагрузкой.

Для однородной упругой задачи комплексные потенциалы $\phi_0(z)$ и $\chi_0(z)$ представим в виде [2]:

$$\phi_0(z) = \frac{iP}{2\pi} \left[(z-b_0) \ln(z-b_0) - (z-a_0) \ln(z-a_0) \right] + \phi_0^*(z) + \sum_{k=1}^{\infty} a_k^{(0)} \left(\frac{R}{z-h} \right)^k, \quad (2)$$

$$\chi_0(z) = \frac{iP}{2\pi} \left[(z-\bar{b}_0) \ln(z-\bar{b}_0) - (z-\bar{a}_0) \ln(z-\bar{a}_0) \right] + \chi_0^*(z) + \sum_{k=1}^{\infty} A_k^{(0)} \left(\frac{R}{z-h} \right)^k. \quad (3)$$

Здесь $\phi_0^*(z)$ и $\chi_0^*(z)$ комплексные функции, голоморфные в полуплоскости, определяются методом Мусхелишвили [1] из граничного условия на прямолинейной границе L_0 полуплоскости [4, 6]:

$$\phi_0(t_0) - 2\bar{t}_0 \cdot \overline{\phi_0'(t_0)} + \overline{\chi_0(t_0)} = P \cdot t_0 \quad (a_0 \leq t_0 \leq b_0) \quad (4)$$

и

$$\phi_0(t_0) - 2\bar{t}_0 \cdot \overline{\phi_0'(t_0)} + \overline{\chi_0(t_0)} = 0 \quad (t_0 \leq a_0; t_0 \leq b_0)$$

Здесь $t_0 = -\bar{t}_0$ – аффиксы точек контура L_0 .

Подставляя (2) и (3) в граничное условие на L_0 (4) и применяя метод Мусхелишвили, получим выражения для комплексных функций $\phi_0^*(z)$ и $\chi_0^*(z)$:

$$\phi_0^*(z) = \sum_{k=1}^{\infty} 2k \cdot a_k^{(0)} (-1)^{k+1} \left[\left(\frac{R}{z+h} \right)^k - \frac{h \cdot R^k}{(z+h)^{k+1}} \right] - \sum_{k=1}^{\infty} A_k^{(0)} (-1)^k \left(\frac{R}{z+h} \right)^k \quad (5)$$

$$\chi_0^*(z) = -\sum_{k=1}^{\infty} a_k^{(0)} (-1)^k \left(\frac{R}{z+h} \right)^k + 2z \cdot \phi_0^{*'}(z). \quad (6)$$

Далее, подставляя заранее преобразованные $\phi_0(z)$ и $\chi_0(z)$ по граничным значениям $\left(\frac{R}{t_1-h} \right)$ на L_1 :

$$\phi_0(t_1) + (t_1 - \bar{t}_1) \cdot \overline{\phi_0'(t_1)} + \chi_0(t_1) = 0, \quad (7)$$

и сравнивая выражения при одинаковых степенях переменной $\left(\frac{R}{t_1-h} \right)$, получим две группы бесконечных систем линейных алгебраических уравнений относительно искомым неизвестных коэффициентов $a_k^{(0)}$ и $A_k^{(0)}$ ($k = 1, m$).

Далее, в последующих приближения определяются комплексные потенциалы $\phi_n(z)$ и $\chi_n(z)$ ($n \geq 1$), из граничного условия на L_1 :

$$\phi_n(t_1) + (t_1 - \bar{t}_1) \cdot \overline{\phi_n'(t_1)} + \chi_n(t_1) = iG_{n-1}(t_1, \bar{t}_1), \quad n \geq 1. \quad (8)$$

Здесь, t_1 – аффиксы точек контура L_1 ; выражение $iG_{n-1}(t_1, \bar{t}_1)$ имеет вид [3], [5]:

$$iG_{n-1}(z, \bar{z}) = \int_0^{\bar{z}} \text{Re} \left[B_1 G_{n-1} + \int_0^{\bar{z}} B_2 G_{n-1} d\bar{z} + \int_0^{\bar{z}} B_3 G_{n-1} dz + \int_0^{\bar{z}} dz \int_0^{\bar{z}} B_4 G_{n-1} d\bar{z} \right] dz = 0 \quad (9)$$

Таким образом, используя полученные значения комплексных потенциалов $\phi_0(z)$ и $\chi_0(z)$ для нулевого приближения, последовательно из граничного условия (8) и выражения (9) определяются все последующие значения комплексных потенциалов $\phi_n(z)$ и $\chi_n(z)$ ($n \geq 1$). После определения комплексных потенциалов $\phi(z)$ и $\chi(z)$ по известным формулам [1] в характерных точках двухсвязной неоднородной полуплоскости определяются компоненты окружных напряжений.

Следует отметить, что в качестве примера выбрана неоднородность вида

$$E = E_0^{\alpha(z+\bar{z})}; \quad \alpha = \frac{\delta}{2h}; \quad 0 < \alpha < 1, \quad (10)$$

$\nu = \text{const}$ – коэффициент Пуассона

$$B_1 = -2\alpha; \quad B_2 = \frac{1-\nu}{2}\alpha^2; \quad B_3 = \frac{1+\nu}{2}\alpha^2; \quad B_4 = 0. \quad (11)$$

При следующих геометрических и физико-механических параметрах:

$$a_0 = -5 \text{ м}; \quad b_0 = 250 \text{ м}; \quad P = 0,04 \text{ МПа}; \\ \alpha = 0,1; \quad h = 3 \text{ м}; \quad R = 1 \text{ м}.$$

Решена конкретная плоская задача для неоднородной двухсвязной полуплоскости при действии кусочно-равномерно распределенной нагрузки на прямолинейную границу полуплоскости. В точках круглой полости вычислены окружные напряжения σ_θ для нулевого и первого приближений, построены эпюры напряжений σ_θ (рис. 2, 3).

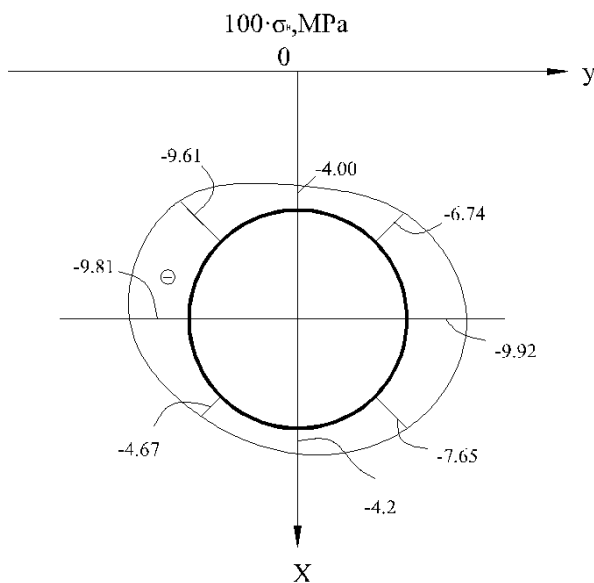


Рис. 2 – Эпюры напряжений σ_θ для нулевого и первого приближений

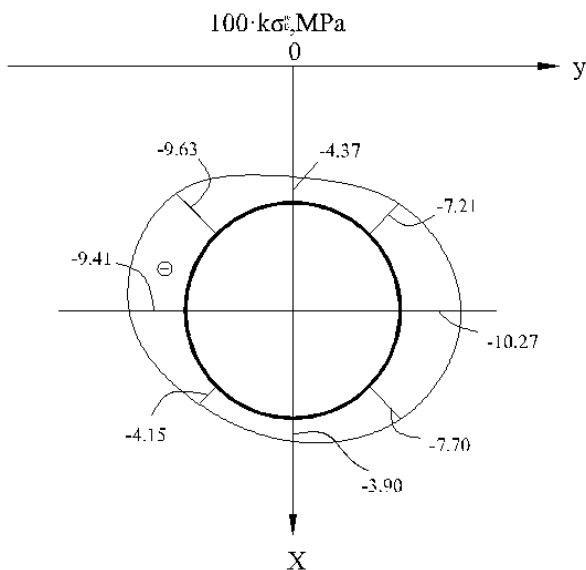


Рис. 3 – Эпюры напряжений σ_θ для нулевого и первого приближений

Выводы. В точках кругового отверстия, близкие к прямолинейной границе полуплоскости, наблюдаются

увеличение значений окружных напряжений при учете неоднородности среды массива полуплоскости.

Учет неоднородности среды массива полуплоскости позволяет в значительной степени более реально отражать картину распределения напряжений вокруг кругового отверстия полуплоскости.

Список литературы: 1. Мусхелишвили, Н. И. Некоторые основные задачи математической теории упругости [Текст] / Н. И. Мусхелишвили. – Москва: «Наука», 1966. – 707 с. 2. Фотиева, Н. Н. Аналитические методы расчета обделок тоннелей мелкого заложения. Подземное строительство России на рубеже XXI века [Текст] / Н. Н. Фотиева // Труды Юбилейной научно-практической конференции 15–16 марта, 2000. – С. 123–132. 3. Ломакин, В. А. Теория упругости неоднородных тел [Текст] / В. А. Ломакин. – М.: Изд. МГУ, 1976. – 367 с. 4. Космодамианский, А. С. Плоская задача теории упругости для пластин с отверстиями, вырезами и выступами [Текст] / А. С. Космодамианский. – Киев, 1979. – 226 с. 5. Мишику, М. Решение при помощи теории функций комплексного переменного статической плоской задачи теории упругости для неоднородных изотропных тел [Текст] / М. Мишику, Р. Теодосиу // Прикладная математика и механика. – 1966. – Т. 30, Вып. 2. – С. 379–387. 6. Chen, Y. Z. Solution for hole problems of elastic half-plane with gravity force using boundary integral equation [Text] / Y. Z. Chen, Z. X. Wang // International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences, 48. – 2011. – P. 520–526. 7. Chen, Y. Z. Solution for hole problems of elastic half-plane with gravity force using boundary integral equation [Text] / Y. Z. Chen, Z. X. Wang // International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences, 48. – 2011. – P. 520–526. 8. Dejole, A. A boundary integral method for multiple circular holes in an elastic half-plane [Text] / A. Dejole, S. G. Mogilevskaya, S. L. Crouch // Engineering Analysis with Boundary Elements. Vol. 30, Issue 6. – 2006. – P. 450–464. 9. Kratochvili, J. Asymptotic analysis of the interaction of a finite number of holes in an elastic plane or half-planes [Text] / J. Kratochvili, Becker Wilfried // Proc Appl Mech. – 2011. – 11. – P. 237–238. 10. Kuo, Chang-Hung. Contact stress analysis of an elastic half-plane containing multiple inclusions [Text] / Kuo Chang-Hung // International Journal of Solids and Structures. – 2008. – Vol. 45, Issue 16. – P. 4562–4573. 11. Lee, J. K. Elastic analysis of a half-plane containing an inclusion and a void using a mixed volume and boundary integral equation method [Text] / J. K. Lee, A. Mal // Engineering Analysis with Boundary Elements. – 2011. – Vol. 35, Issue 7. – P. 915–924.

Bibliography (transliterated): 1. Muskhelishvili, N. I. (1966). Nekotorye osnovnyye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti. Moscow: «Nauka», 707. 2. Fotieva, N. N. (2000). Analiticheskie metody rascheta obdelok tonnelej melkogo zalozheniya. Podzemnoe stroitel'stvo Rossii na rubezhe XXI veka. Trudy Jubilejnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 15–16 marta, 123–132. 3. Lomakin, V. A. (1976). Teoriya uprugosti neodnorodnyh tel. Moscow: Izd. MGU, 367. 4. Kosmodamianskij, A. S. (1979). Ploskaja zadacha teorii uprugosti dlja plastin s otvorstijami, vyrezami i vystupami. Kiev, 226. 5. Mishiku, M., Teodosiu, R. (1966). Reshenie pri pomoshhi teorii funkciy kompleksnogo peremennogo staticheskoy ploskoj zadachi teorii uprugosti dlja neodnorodnyh izotropnyh tel. Prikladnaja matematika i mehanika, T. 30, V. 2, 379–387. 6. Chen, Y. Z., Wang, Z. X. (2011). Solution for hole problems of elastic half-plane with gravity force using boundary integral equation. International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences, 48, 520–526. 7. Chen, Y. Z., Wang, Z. X. (2011). Solution for hole problems of elastic half-plane with gravity force using boundary integral equation. International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences, 48, 520–526. 8. Dejole, A., Mogilevskaya, S. G., Crouch, S. L. (2006). A boundary integral method for multiple circular holes in an elastic half-plane. Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol. 30, Issue 6, 450–464. 9. Kratochvili, J., Becker Wilfried. (2011). Asymptotic analysis of the interaction of a finite number of holes in an elastic plane or half-planes. Proc Appl Mech., 11, 237–238. 10. Kuo, Chang-Hung. (2008). Contact stress analysis of an elastic half-plane containing multiple inclusions. International Journal of Solids and Structures, Vol. 45, Issue 16, 4562–4573. 11. Lee, J. K., Mal, A. (2011). Elastic analysis of a half-plane containing an inclusion and a void using a mixed volume and boundary integral equation method. Engineering Analysis with Boundary Elements, Vol. 35, Issue 7, 915–924.

Поступила (received) 16.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кулієв Етібар Бахтіяр оглы – докторант, Азербайджанский архитектурно-строительный университет; кафедра "Дорожное строительство, мосты и тоннели; ул. Айны Султановой, 5, г. Баку, Азербайджан, AZ 1073.

Кулієв Етібар Бахтіяр оглы – докторант, Азербайджанський архітектурно-будівельний університет; кафедра "Дорожнє будівництво, мости і тунелі; вул. Айни Султанової, 5, м Баку, Азербайджан, AZ 1073.

Guliyev Etibar Bakhtiyar oglu – PhD, Azerbaijan University of Architecture and Construction; Department "Road construction, bridges and tunnels; str. Ayna Sultanova, 5, Baku, Azerbaijan, AZ 1073.

УДК 65.001.1(075.8)

Ю. А. ПЕТРЕНКО

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ СИНТЕЗУ СИСТЕМИ ОФІСІВ З УПРАВЛІННЯ ПРОГРАМАМИ

В статті, в межах розвитку методології управління програмами та формалізації процесу синтезу системи офісів з управління програмами (СОУП) проведено теоретико-множинне його описання. Системна концепція синтезу СОУП у вигляді моделей, що наведена у статті є досить загальною, та становить принципи декомпозиції її на часткові задачі, такі як вибір оргструктур і рівня функціональних повноважень офісу, технології реалізації процесів управління проектами, встановлення комунікацій між ними, вибору місця розташування, підбір кваліфікованих виконавців. Для отримання по ним рішень потрібна подальша їх деталізація та конкретизація.

Ключові слова: системна концепція, теоретико-множинний опис, управління програмами, проектних офісів.

Вступ. При реалізації програми в проектно-орієнтованій організації створюється система проектних офісів, в яку входять генеральний офіс організації, офіс програми і офіси проектів у складі програми. Цю систему офісів можна розглядати як систему, яка складається з певної множини елементів із складною схемою взаємодії між ними. Таким чином, створюється багаторівнева система офісів з управління програмою.

Ця структура не є постійною, а залежить від етапів життєвого циклу програми і проектів.

З точки зору процесного підходу, будь-яка організація представляється як набір процесів управління пов'язаних з цілями та місією цієї організації. Управляючи процесами та постійно їх удосконалюючи, організація добивається високої ефективності своєї діяльності. Тоді у даному контексті СОУП можна представити як систему процесів управління та відношень між ними.

Для формалізованого опису СОУП і задач їх структурного синтезу використовується апарат теорії множин і теорії графів. Як правило, елементам системи відповідають вершини графа, а зв'язкам між ними дуги [1, 2].

Постановка задачі. Розглянемо задачу синтезу СОУП. Узагальнення теоретико-множинного опису дозволяє представити систему (її структуру) у вигляді [3, 4]: $s = \langle \varepsilon, \sigma \rangle$, де ε – кортеж компонентів системи і σ – відношення між ними, що визначають властивості системи, $p = \varphi(\varepsilon, \sigma)$ де φ – деяке відображення. Справедливо буде передбачити, що задача синтезу СОУП $S^* = \{s\}$, яка б задовольняла заданим властивостям $P^* = \{p\}$, зводиться до підбору відповідного набору компонентів системи і стосунків між ними.

Сформулюємо загальну постановку задачі синтезу СОУП.

Задані:

– $Progr = \{pr_c\}$, $(c = \overline{1, c'})$ – множина можливих програм, які можуть виконуватися організацією, і

їх характеристики, де c' – кількість програм;

– $Proj_c = \{proj_{cp}\}$, $(p = \overline{1, p'})$ – множина проектів, що виконуються проектною організацією в рамках с-й програми, де p' – кількість проектів;

– $GrProc_{cp} = \{GrProc_{cpi}\}$, $(i = \overline{1, 5})$, $(i = \overline{1, 5})$ – множина груп процесів управління p -м проектом с-й програми, де i – кількість груп процесів управління проектом, яке рівне п'яти;

– $Proc_{cpi} = \{Proc_{cpj}\}$, $(j = \overline{1, j_i})$, $(j = \overline{1, j_i})$ – множина процесів управління i -ої групи p -го проекту с-й програми, де j_i – кількість процесів управління;

– $Pr_{cpj} = \{Pr_{cpjr}\}$, $(r = \overline{1, r_j})$, $(r = \overline{1, r_j})$ – множина процедур, де r_j – кількість процедур в j -м процесі управління i -ої групи процесів управління p -го проекту с-й програми;

– $Oper_{cpjr} = \{Oper_{cpjrm}\}$, $(m = \overline{1, m_r})$, $(m = \overline{1, m_r})$ – множина операцій, де m_r – кількість операцій в r -й процедурі j -го процесу i -ої групи процесів управління p -го проекту с-й програми;

– $OS = \{os_v\}$, $(v = \overline{1, v'})$ – множина видів організаційних структур управління програмами, де v' – кількість видів організаційних структур управління програмами.

– $SU = \{su_e\}$, $(e = \overline{1, 3})$ – множина рівнів функціональних повноважень проектного офісу, де 3 – кількість видів рівнів функціональних повноважень;

– $Ra = \{ra_b\}$, $(b = \overline{1, b'})$ – множина місць можливого розміщення офісів, де b' – кількість місць можливого розміщення офісів;

– $PS = \{ps_\gamma\}$, $(\gamma = \overline{1, \gamma_{cpjrm}})$ – множина програмних засобів, де γ_{cpjrm} – кількість програмних засобів, для реалізації процесів управління програмами і проектами;

– $TS = \{ts_u\}$, ($u = \overline{1, u_\gamma}$) – множина технічних засобів, де u_γ – кількість технічних засобів, які забезпечать ефективне функціонування -го програмного засобу;

– $Is = \{is_k\}$, ($k = \overline{1, k_{cpjrm}}$) – множина можливих виконавців, де k_{cpjrm} – кількість претендентів, які можуть виконати m-ю операцію г-й процедури j-го процесу i -ої групи управління для p -го проекту с-й програми;

– $Kom = \{kom_a\}$, ($a = \overline{1, a'}$) множина варіантів синтезу або розвитку та реінжиниринга комп'ютерної мережі офісів з управління програмами, де a' – кількість варіантів синтезу або розвитку і реінжиниринга.

Необхідно визначити:

– програму pr_c , для якої необхідно синтезувати СОУП;

– проекти $proj_{cp}$, для яких необхідно синтезувати офіси, де p – порядковий номер обслуговуваного проекту с-й програми;

– склад і кількість процесів, процедур і операцій для відповідної групи $GrProc_{cp} = \{GrProc_{cpi}\}$,

($i = \overline{1, 5}$) процесів управління вибраного p -го проекту с-й програми, тобто $Proc_{cpi} = \{Proc_{cpij}\}$,

$Pr_{cpij} = \{Pr_{cpijr}\}$, $Oper_{cpijr} = \{Oper_{cpijrm}\}$, $i = \overline{1, 5}$; $j = \overline{1, j_i}$; $r = \overline{1, r_j}$; $m = \overline{1, m_r}$;

– організаційну структуру управління os_{cpv} вибраного p -го проекту с-й програми, де v – порядковий номер організаційної структури управління;

– рівень функціональних повноважень офісу su_{cpe} вибраного p -го проекту с-й програми, де e – порядковий номер рівня функціональних повноважень офісу;

– місця розміщення ra_{cpb} офісів p -го проекту с-й програми,

де b – порядковий номер місця розміщення;

– підмножина програмних ps_γ і технічних ts_u засобів, які можуть виконати m-ю операцію г-й процедури j-го процесу i -ої групи для p -го проекту с-й програми із заданою якістю і у встановлений термін, де γ і u – порядкові номери програмного і технічного засобу

відповідно;

– підмножина виконавців, які можуть виконати m-ю операцію г-й процедури j-го процесу i -ої групи процесів управління для p-го проекту із заданою якістю і у встановлений термін

$Is^* = \{is_{cpk}\}$, $i = \overline{1, 5}$; $j = \overline{1, j_i}$; $r = \overline{1, r_j}$; $m = \overline{1, m_r}$;

– синтезувати або реалізувати розвиток і реінжиниринг корпоративної комп'ютерної мережі офісів с-й програми і проектів, які входять в її склад $Kom = \{kom_{cpa}\}$.

Розробка концептуальної моделі. Рішення сформульованої задачі буде знайдено при екстремізації прийнятих критеріїв ефективності, і задоволенні заданим обмеженням за ресурсами та часом.

Основною компонентою є процеси управління програмою (ПУП), що протікають в офісі для досягнення мети програми pr_c і проектів $proj_{cp}$. ПУП є множина груп процесів, процесів, процедур і операцій управління $PU_{cpjrm} = \{GrProc, Proc, Pr, Oper\}$. Характерною особливістю СОУП як об'єкту синтезу і управління є визначальна залежність його властивостей (функціональних і вартісних характеристик) від прийнятої організаційної структури OS управління проектами програми і рівня функціональних повноважень їх офісу su . Для реалізації ПУП вибираються технології, які визначають множина програмних ps і технічних ts засобів. Всі процеси протікають в конкретному місці, що визначається множина місць розташування ra , при цьому вони можуть бути поширені по різних територіях і, крім того, по різних поверхах офісної будівлі. Між ПУП встановлюються комунікаційні зв'язки kom , тобто процеси обмінюються між собою необхідною інформацією, результат виконання одні стає вихідною інформацією для інших. Множина виконавців is виконує ПУП з певною якістю і повинні володіти заданими професійними навиками і володіти вибраними технологіями для ефективного виконання своїх обов'язків. Всі компоненти СОУП змінюватимуться залежно від етапу життєвого циклу програми t . Таким чином, теоретико-множинний опис дозволяє представити систему у вигляді:

$$s = \langle \{pr_c, proj_{cp}, PU_{cp}, os_{cpv}, su_{cpe}, ps_\gamma, ts_u, ra_{cpb}, is_{cpk}, kom_{cpa}\}, \sigma, t \rangle. (1)$$

При цьому множина властивостей, якими володіє система s, може бути представлена у вигляді:

$$\beta = \varphi (\{pr_c, proj_{cp}, PU_{cp}, os_{cpv}, su_{cpe}, ps_\gamma, ts_u, ra_{cpb}, is_{cpk}, kom_{cpa}\}, \sigma, t),$$

де φ деяке відображення.

Система, що представляється у вигляді (1), може бути реалізована множиною різних компонентів і відносинами між ними. Виходячи з цього, кожній з реалізацій системи відповідатиме свій набір властивостей

$$\varphi : (\{pr_c, proj_{cp}, PU_{cp}, os_{cpv}, su_{cpe}, ps_\gamma, ts_u, ra_{cpb}, is_{cpk}, kom_{cpa}\}, \sigma, t) \rightarrow \beta. (2)$$

Модель опису синтезу СОУП у такому вигляді є досить загальним і може розглядатися лише як її концептуальна модель метарівня на ранніх стадіях синтезу офісів. При вирішенні ж завдань структурного системного синтезу опис СОУП має бути деталізований і відображувати властивості всіх компонентів.

На першому етапі синтезу СОУП, виходячи з результатів аналізу цілей системи, необхідно виділити підмножину найважливіших властивостей якими повинна володіти СОУП. Виділені властивості є

підмножиною множини і властивостей $\beta' \subseteq \beta^U$, які можуть бути отримані на універсальній множині і проектів $Proj^U$ і їх стосунків, організаційних структур Os^U проектами програми і рівня функціональних повноважень офісу Su^U на даному етапі життєвого циклу програми:

$$\beta^U = \phi \left(Proj^U, Os^U, Su^U, \sigma, t \right). \quad (3)$$

Множина $Proj^U$ включає різні ПУП, на яких може бути синтезована СОУП. Множина організаційних структур Os^U визначається можливими принципами реалізації стратегії компанії, а також розподілом функцій між елементами організаційної структури і, зокрема, описує можливі схеми взаємозв'язків між множиною елементів $Proj^U$.

Склад множини і рівня функціональних повноважень офісу Su^U визначається рівнем організаційної зрілості. Склад множини Su^U визначає склад множин $Proj^U$ і Os^U .

На другому етапі синтезу офісів програми, відображення β' на множині елементів $Proj^U$, організаційних структур Os^U і рівня функціональних повноважень офісу Su^U неявно визначає підмножини елементів $Proj^U$, програмних і технічних засобів, за допомогою яких виконуватимуться ПУП, місць розташування Ra^U , комунікацій між елементами системи Kom^U і виконавців Is^U , на яких може бути реалізована СОУП з виділеними властивостями P^U . Таким чином, формується область існування СОУП $S^U = \{s\}$, яка, виходячи з існуючих технічних, економічних, ресурсних або інших обмежень, звужується до допустимої області синтезу $S^* = \{s\}$, $S^* \subseteq S^U$.

На подальших етапах синтезу офісів проектів, задачі структурного синтезу СОУП деталізує і зводиться до вибору таких підмножин елементів $proj^o \subseteq Proj^*$, організаційних структур $os^o \subseteq Os^*$, рівня функціональних повноважень офісу $su^o \subseteq Su^*$, програмних і технічних засобів, за допомогою яких виконуватимуться ПУП, місць розташування елементів $ra^o \subseteq Ra^*$, комунікацій між елементами системи $kom^o \subseteq Kom^*$ і виконавців $is^o \subseteq Is^*$ з допустимої області S^* , які забезпечують найбільш раціональне (наприклад, з мінімальними витратами ресурсів C^o) досягнення необхідних властивостей β' .

Відповідно до [5, 6] формалізація множини і найважливіших властивостей $\beta' = \{p_1, p_2, \dots, p_{n_\beta}\}$ (де n_β – кількість виділених властивостей) дозволяє отримати кількісні оцінки міри досягнення мети системи і в цьому сенсі може служити множиною часткових критеріїв ефективності. Серед найбільш загальних вимог, що пред'являються до систем даного класу

(властивостей СОУП), виділяються [7-9]: якість, терміни, вартість, надійність виконання функцій, завантаження, живучість системи. При вирішенні завдань синтезу СОУП прагнуть до інтегральності приватних критеріїв $K = \{k_1, k_2, \dots, k_{n_k}\}$ (де n_k – кількість приватних критеріїв), тобто $|K| < |\beta'|$ або $n_k < n_\beta$.

Оцінка якості варіантів побудови СОУП може бути здійснена з використанням методології функціонально-вартісного аналізу [10]. Метою створення будь-якої ТПРС є максимізація її ефективності, тобто здобуття максимального співвідношення розміру ефекту від її функціонування Q і ресурсів C . Передбачимо, що існують узагальнені оцінки ефекту і витрат ресурсів (вартості) на систему

$$Q = F_1 \left(\{pr_c, proj_{cp}, PU_{cp}, os_{cpv}, su_{cpe}, ps_\gamma, ts_u, ra_{cpb}, is_{cpk}, kom_{cpa}\}, \sigma, t \right), \quad (4)$$

$$C = F_2 \left(\{pr_c, proj_{cp}, PU_{cp}, os_{cpv}, su_{cpe}, ps_\gamma, ts_u, ra_{cpb}, is_{cpk}, kom_{cpa}\}, \sigma, t \right). \quad (5)$$

Функціональний ефект системи в загальному випадку є неубутною функцією від витрачених на його досягнення ресурсів (вартості) $\bar{Q} = F(\bar{C})$, де \bar{Q} і \bar{C} узагальнені скалярні оцінки ефекту і вартості СОУП; F оператор, що відображує стратегію використання ресурсів, визначувану вибором варіанту побудови СОУП $s \in S^*$. На ранніх етапах проектування виникає задача вибору варіанту побудови СОУП по критерію «ефект-вартість»

$$K_{QC} = \underset{Q,C,F}{opt} \Theta(Q, C, F), \quad (6)$$

де $opt \Theta$ – оператор, що визначає конкретний вигляд критерію ефективності.

В умовах заданих обмежень на показники ефекту і вартості задача синтезу СОУП на основі критерію (6) може бути представлено у формах

$$s_1^o = \arg \max_{s \in S^*} (\bar{Q}(s) - \bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*, \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*), \quad (7)$$

$$s_2^o = \arg \max_{s \in S^*} (\bar{Q}(s) / \bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*, \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*), \quad (8)$$

де \bar{Q}^* , \bar{C}^* – граничні рівні приведених узагальнених оцінок ефекту і вартості ТПРС; $S^* = \{s\}$ – множина допустимих варіантів побудови СОУП.

Окремими випадками задач (7)-(8) є задачі синтезу СОУП:

– в умовах заданих обмежень на ресурси (вартість) вибрати варіант побудови СОУП, що максимізував приведений ефект

$$s_3^o = \arg \max_{s \in S^*} (\bar{Q}(s) : \bar{C}(s) \leq \bar{C}^*); \quad (9)$$

– в умовах заданих обмежень на рівень ефекту вибрати варіант побудови, що мінімізує приведені витрати на створення і (або) експлуатацію ТПРС

$$s_4^0 = \arg \min_{s \in S^*} (\bar{C}(s) : \bar{Q}(s) \geq \bar{Q}^*). \quad (10)$$

Висновки. Системна концепція синтезу СОУП у вигляді моделей (1)-(10) є досить загальна, та становить принципи декомпозиції на часткові задачі. Для отримання по ним рішень потрібна їх деталізація і конкретизація. Проблема структурного синтезу СОУП є багатогранною, включає комплекси задач вибору оргструктур і рівня функціональних повноважень офісу, технології реалізації ПУП, встановлення комунікаційних зв'язків між ними, вибору місця розташування, підбір кваліфікованих виконавців, всесторонньої оцінки і вибору варіантів рішень на різних етапах життєвого циклу програми.

Список літератури: 1. Клар, Л. Системология. Автоматизация решения системных задач [Текст] / Л. Клар. – М.: Радио и связь, 1990. – 544 с. 2. Овезгельдыев, А. О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации [Текст] / А. О. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров. – К.: Наукова думка, 2002. – 164 с. 3. Автоматизированные системы управления городским хозяйством [Текст] / И. В. Кузьмин, Э. Г. Петров, И. А. Алферов и др.; под ред. В. М. Глушкова. – К.: Будівельник, 1978. – 144 с. 4. Ильин, Н. А. Структура сетей телеуправляемых комплексов и АСУ [Текст] / Н. А. Ильин, А. Кабальеро. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 56 с. 5. Советов, Б. Я. Построение сетей интегрального обслуживания [Текст] / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. – Л.: Машиностроение, 1990. – 332 с. 6. Основы системного анализа и проектирования АСУ [Текст] / А. А. Павлов, С. Н. Гриша, В. Н. Томашевский и др.; под общ. ред. А. А. Павлова. – К.: Вища школа, 1991. – 368 с. 7. Илюш-

ко, В. М. Методы и модели информационной технологии проектирования метасистем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.06 [Текст] / Илюшко Виктор Михайлович. – Х., 1998. – 451 с. 8. Илюшко, В. М. Системное моделирование в управлении проектами: монография [Текст] / В. М. Илюшко, М. А. Латкин. – Х.: Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2010. – 220 с. 9. Цыркун, Л. Д. Структура многоуровневых и крупномасштабных систем. Синтез и планирование развития [Текст] / Л. Д. Цыркун, В. К. Акинфиев. – М.: Наука, 1993. – 160 с. 10. Справочник по функционально-стоимостному анализу [Текст] / А. П. Ковалев, Н. К. Моисеева, В. В. Сысун и др.; под ред. М. Г. Карпунина. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 432 с.

Bibliography (transliterated): 1. Klyr, L. (1990). Systemology. Avtomatyzatsiya resheniya systemnykh zadach. Radyo i svyaz, 544. 2. Ovezheldyev, A. O., Petrov, E. Gh., Petrov, K. E. (2002). Syntez y ydentyfikatsiya modelej mnohofaktornogo ocenivaniya y optymyzatsyy. – Naukova dumka, 164. 3. Kuzjmin, Y. V., Petrov, E. Gh., Alferov, Y. A. y dr. (1978). Avtomatyzirovannye systemy upravleniya ghorodskym khozajstvom. Budivelnik, 144. 4. Ilyn, N. A., Kabalero, A. (1985). Struktura setej teleupravlyаемых kompleksov y ASU. Enerhoatomizdat, 56. 5. Sovetov, B. Ya. Jakovlev, S. A. (1990). Postroyeniye setej intehralnoho obsluzhivaniya. Mashynostroeniye, 332. 6. Pavlov, A. A., Hrysha, S. N., Tomashevskiy, V. N., y dr. (1991). Osnovy systemnoho analiza i proektyrovaniya ASU. Vysha shkola, 368. 7. Yljushko, V. M. (1998). Metody i modely informatsionnoy tehnolohyy proektyrovaniya metasytem. dys.d-ra techn. nauk: 05.13.06, 451. 8. Yljushko, V. M. Latkin, M. A. (2010). Systemnoe modelyrovaniye v upravlenyy proektamy. Natsionalny aerokosmycheskyy unyversytet im. N. E. Zhukovskoho «ХАИ», 220. 9. Cyvrkun, L. D. Akyrfyev, V. K. (1993). Struktura mnohurovnevyyh i krupnomashtabnyh system. Syntez y planyrovaniye razvytyya. Nauka, 160. 10. Kovalev, A. P., Moiseeva, N. K., Sysun V. V. y dr. (1988). Spravochnyk po funktsionalno-stoymostnomu analyzy. Fynansy i statystyka, 432.

Надійшла (received) 20.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Петренко Юрій Антонович – доктор технічних наук, доцент, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»; вул. Петровського, 25, м. Харків, 61002, тел.: 097-331-90-81; e-mail: ua_petrenko@mail.ru.

Петренко Юрий Антонович – доктор технических наук, доцент, Харьковский национальный автомобильно-дорожний университет, профессор кафедры «Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии»; ул. Петровского, 25, г. Харьков, 61002, тел.: 097-331-90-81; e-mail: ua_petrenko@mail.ru.

Petrenko Yuriy Antonovich - doctor of technical sciences, associate professor, Kharkiv National Automobile and Highway University, professor of the department «Automation and computer-integrated technologies»; vul. Petrovskogo, 25, Kharkiv, 61002, tel. : 097-331-90-81; e-mail: ua_petrenko@mail.ru.

УДК 004.93.673:61

С. В. ЯКУБОВСКАЯ, В. В. НИКОНОВ, А. П. ПОРВАН, А. И. ДОВНАРЬ, Е. И. ЧИЖИК

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСХОДА ИНФАРКТА МИОКАРДА

В статье предложена автоматизированная система определения исхода инфаркта миокарда, которая позволяет определить вероятность летального исхода и предупредить внезапную коронарную смерть по данным клинико-инструментальных и клинико-лабораторных исследований на основе методов анализа выживаемости и вербального анализа. Для автоматизации учета больных с диагнозом «Инфаркт миокарда» и организации хранения данных предложена концептуальная модель базы данных. Предлагаемая система может быть использована в медицинских государственных и коммунальных учреждениях кардиологического профиля, а также в учебных заведениях при подготовке студентов-медиков.

Ключевые слова: автоматизированная система, инфаркт миокарда, коронарная смерть, база данных, анализ выживаемости.

Введение. Проблема повышения эффективности лечения больных инфарктом миокарда (ИМ) является одной из центральных в современной кардиологии и имеет огромное медико-социальное значение. Последние десятилетия характеризуются неблагоприятной динамикой показателей сердечно-сосудистой заболеваемости и смертности практически во всех странах мира, включая Украину. По оценкам ученых, в 2013 году от сердечно-сосудистых заболеваний умерло 17,3 миллиона человек,

что составило 30 % всех случаев смерти в мире, из них 7,3 миллиона от ишемической болезни сердца, включая ИМ, а к 2030 году прогнозируется, что эта цифра составит около 23,6 миллионов человек. При этом в Украине 40 % смертей приходится на людей трудоспособного возраста – 25-64 лет, а распространенность болезней сердца и сосудов в основном зависит от образа жизни и факторов

© С. В. Якубовская, В. В. Никонов, А. П. Порван, А. И. Довнар, Е. И. Чижик. 2015

риска, изменение которых может замедлить развитие заболевания как до, так и после появления клинических симптомов [1–4].

Анализ литературных источников и постановка проблемы. В последние годы активное внедрение в медицину методов математического моделирования и создания автоматизированных систем существенно расширило возможности диагностики и терапии заболеваний. Одной из разновидностей медицинских диагностик является нозологическая постановка или обоснование конкретного диагноза на основе имеющейся клинической и параклинической информации с использованием различных средств автоматизации [5, 6]. В свою очередь применение таких средств сопряжено с регистрацией, обработкой и анализом множества специфических диагностических признаков, что приводит к большим временным затратам и информационной перегрузке специалистов. Кроме того, для определения исхода ИМ врачу приходится использовать не только свой опыт, но и сложные диагностические методики, которые уже сами по себе требуют определенного уровня автоматизации. Соответственно, одним из важных аспектов является разработка автоматизированной системы, позволяющей оперативно производить оценку состояния сердечно-сосудистой системы (ССС) с целью своевременного прогноза исхода заболевания и назначения лечебно-профилактических мероприятий, что особо важно в острый и острейший периоды ИМ.

На сегодняшний день широкое применение для решения диагностических и прогностических задач в медицине получили вероятностные методы, основанные на Байесовском подходе [7]. Данные методы успешно применяются и для выявления ряда кардиологических заболеваний. Однако данная группа методов чувствительна к форме представления диагностической информации, а использование стратегии постановки диагноза на основе данного подхода не позволяет предупредить внезапную коронарную смерть и определить критический период после перенесенного ИМ, что снижает качество дальнейших лечебно-профилактических мероприятий.

Малочувствительным к форме представления признаков является применяемый в медицинских системах последовательный статистический анализ Вальда [8]. По математической основе он близок к вероятностным методам и представляет последовательную процедуру обследования, при которой достигается выбранный уровень вероятности диагноза или прогноза как по результатам оценки качественных, так и количественных показателей. Недостатком данного вида анализа является отсутствие возможности определения дальнейшего развития заболевания.

Также широкое применение в системах прогнозирования ИМ нашел логико-вероятностный алгоритм [9]. В нем используется значение условной вероятности появления признаков (клинико-инструментальных или клинико-лабораторных), характерных для того или иного заболевания и его априорная вероятность, что обеспечивает распознавание болезней по таблицам-матрицам, содержащим набор диагнозов или исходов. Недостатком данного алгоритма является учет только стохастической информации и отсутствие возможности определения исхода заболевания по имеющимся фактическим количественным и качественным показателям, что снижает точность прогноза исхода ИМ.

Существуют методы прогнозирования ИМ с учетом локализации процесса и степени поражения, на основе результатов работы многослойной полносвязной нейронной сети с прямым распространением сигнала и нелинейными функциями активации [10]. Недостатком этого метода является нестабильность при работе с данными, полученными из разных регионов и чувствительность к форме их представления.

Среди автоматизированных систем и комплексов, позволяющих диагностировать ИМ с учетом локализации процесса и степени поражения заслуживает внимания российская система «Валента®», позволяющая проводить исследования по нескольким методикам с формированием заключения и прогноза исхода заболевания по качественным показателям ЭКГ и результатам осмотра пациента, но не дает оценки клинической картины в целом [11].

Известный кардиологический телеметрический комплекс «UNET» предназначен для ЭКГ-диагностики работы сердца, выявления патологических нарушений сердечного ритма с дальнейшим углубленным анализом параметров ЭКГ и определением возможной вероятности ухудшения состояния [12]. При этом не определяется исход заболевания или возможные варианты его развития.

Одним из современных автоматизированных комплексов, используемых в кардиологии является «BTL CardioPoint», имеющий программное решение, объединяющее ЭКГ и стресс тест в единую платформу, и позволяющий по результатам мониторинга оценить риск возникновения ИМ и летального исхода от него [13]. Однако, данная система позволяет оценить этот риск только в результате длительного мониторинга, что неприемлемо при остром и острейшем ИМ, а постановка диагноза осуществляется только на основании ЭКГ и не включает результаты лабораторных исследований, что сказывается на качестве диагностики и прогнозирования исхода заболевания.

Таким образом, разработка автоматизированной системы определения исхода ИМ, которая позволила бы определить вероятностную летальность исхода и предупредить внезапную коронарную смерть с учетом указанных недостатков, является актуальной научной и практической задачей.

Цель работы. Проблема автоматизации определения исхода ИМ является весьма сложной и связана с тем, что большинство диагностических параметров отличаются как по виду, так и структуре и информативности. Это накладывает свои ограничения как на анализ и хранение регистрируемых данных, так и структуру системы в целом [14]. Целью работы является разработка автоматизированной системы определения исхода ИМ на основе результатов обследования пациента, позволяющей определить вероятность и предупредить внезапную коронарную смерть.

Разработка автоматизированной системы определения исхода инфаркта миокарда. В настоящее время большое внимание уделяется построению медицинских автоматизированных систем и комплексов диагностики состояния организма человека с использованием ЭВМ. Такие системы могут применяться как для диагностики заболеваний отдельных органов и систем организма, так и для прогноза течения данных заболеваний [15].

Нами розроблена автоматизована система, що дозволяє реєструвати, обробляти та аналізувати велику кількість діагностички важливої, узкоспеціалізованої інформації про пацієнтів з ІМ, а також прогнозувати стан результату захворювання у пацієнта, що особливо важливо в гострий і гостріший період для подальшого визначення тактики лікування.

Розроблена система (рис. 1) складається з двох підсистем: біологічної та технічної.

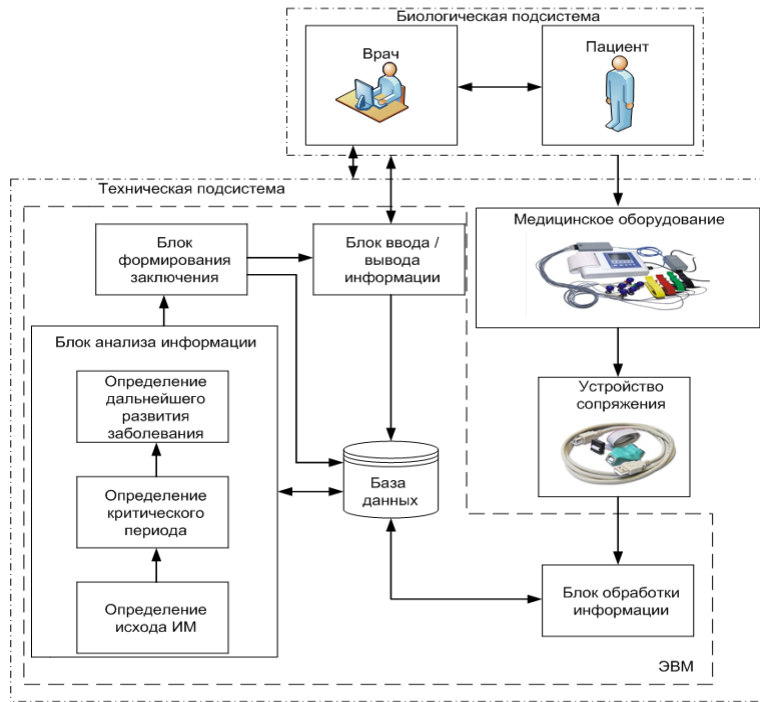


Рис. 1 – Структурна схема автоматизованої системи визначення результату інфаркту міокарда

Біологічна підсистема включає в себе лікаря та пацієнта, а технічна – медичне обладнання, пристрій зв'язування, блок введення інформації та блок виведення інформації, базу даних (БД), блок обробки інформації, блок аналізу інформації, блок формування висновку.

Система працює наступним чином. Лікар, після прийому пацієнта в інфарктне відділення проводить його огляд і збирає дані анамнезу, які надходять через блок введення інформації в БД. Як блок введення інформації виступає клавіатура. Далі лікар проводить діагностику стану пацієнта з використанням електрокардіографа. Для організації обміну інформацією між медичним обладнанням і ЕВМ передбачено пристрій зв'язування на базі інтерфейсу RS-232.

Паралельно проводиться збір крові пацієнта для проведення клініко-лабораторних досліджень, результати яких також через блок введення інформації надходять в БД.

БД дозволяє вести облік хворих з діагнозом «Інфаркт міокарда», а також зберігати результати проведення клініко-лабораторних і клініко-інструментальних досліджень (рис. 2).

Інформація в БД зберігається в взаємопов'язаних таблицях «Карта», «Епікриз», «ЕКГ», «Сахар крові», «Клінічний аналіз крові», «Біохімія крові», «Моча», «Кровь на електроліти», «Свертываемость крови» і «Мікроскопія осадка», «Температурний лист», «ПатоДіагноз», «Лист призначень», «Карта реанімації» в упорядкованому вигляді. Цілісність даних в кожній таблиці забезпечена первинним ключем.

Далі, вся отримана інформація з БД надходить в блок аналізу інформації, в якому на основі результатів ЕКГ, клінічного, біохімічного і коагулографічного аналізів крові пацієнта з ІМ проводиться короткотерміновий прогноз його стану, оснований на способі прогнозування летального результату ІМ [17]. На основі методів аналізу виживаємості проводиться визначення тривалості життя і критичного періоду для пацієнта після перенесеного гострого інфаркту міокарда [18]. Прогноз подальшого розвитку захворювання, побудований за допомогою вербального аналізу, а саме методу ординальної класифікації, дозволяє визначити, чи виникне рецидив ІМ у пацієнта, чи завершиться він летальним результатом або ні [19].

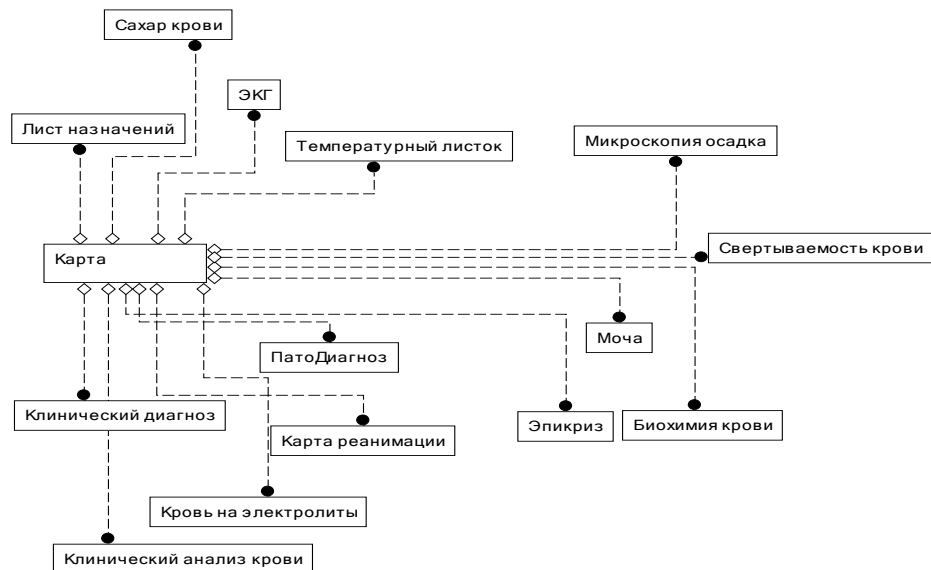


Рис. 2 – Концептуальна модель бази даних

На последнем этапе полученная информация формируется в виде текстового документа и через блок вывода информации передается врачу для осмысления и принятия правильного решения.

Выводы. Таким образом, нами была разработана автоматизированная система определения исхода инфаркта миокарда, которая позволяет по результатам проведения инструментальных и лабораторных исследований с использованием методов анализа выживаемости и выявлении экспертных знаний определить вероятность внезапной коронарной смерти, что дает возможность повысить эффективность проведения лечебно-профилактических мероприятий и снизить смертность.

Предлагаемая система может быть использована в медицинских государственных и коммунальных учреждениях кардиологического профиля, а также в учебных заведениях при подготовке студентов-медиков.

Список литературы: 1. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrstat.gov.ua/> 2. Артюнов, Т. П. Неосложненный острый инфаркт миокарда с элевацией сегмента ST. Современные стандарты диагностики и лечения [Текст] / Т. П. Артюнов, А. В. Розанов // Сердце. – 2005. – Т.4, №2 (20). – С. 109-112. 3. Щорична доповідь про результати діяльності системи охорони здоров'я України. 2011 рік [Текст] / за ред. П. В. Богатирьової. – К., 2012. – 570 с. 4. Assiri, A. Chronic lymphocytic leukemia involving the coronary arteries with accompanying acute myocardial infarction [Text] / A. Assiri, M. Lamba, J. Veinot // Cardiovascular Pathology. – 2009. – Vol.14, N.6. – P. 324–326. 5. Donald, M. Lloyd-Jones. Cardiovascular Risk Prediction. Basic Concepts, Current Status, and Future Directions [Text] / Donald M. Lloyd-Jones. // Circulation of American Heart Association. – 2010. – № 121. – P. 1768–1777. 6. Электронное справочное руководство для врача скорой медицинской помощи. Инфаркт миокарда [Электронный ресурс] / Большая медицинская библиотека. – Режим доступа: <http://www.med2000.ru/cito/cor.htm> 7. Битюкова, В. В. Принципы разработки автоматизированной системы диагностики заболеваний [Текст] / В. В. Битюкова, Е. А. Сидоренко, Б. Л. Гуртовой // Вестник ТГТУ. – 2003. – Т.9., № 2. – С. 204–209. 8. Кочетов, А. Г. Методы статистической обработки медицинских данных [Текст] / А. Г. Кочетов, О. В. Лянз, В. П. Масенко, И. В. Жиров. – М.: РКНПК, 2012. – 42 с. 9. Ступелис, И. Г. Прогнозирование в кардиологии [Текст] / И. Г. Ступелис, А. В. Струтинский. – Вильнюс: Арисмос, 2004. – 163 с. 10. Зыковский, И. Е. Проектирование СКС эволюционно-нейросетевого диагностирования заболеваний сердца [Электронный ресурс] / И. Е. Зыковский. – Режим доступа: <http://ea.dgtu.donetsk.ua:8080/bitstream/123456789/6801/1/Zbykovskiy.pdf> 11. Постнова, Т. Б. Информационно-диагностические системы в медицине [Текст] / Т. Б. Постнова. – М.: Наука, 2003. – 407 с. 12. ООО "Никатор". Телеметрический кардиологический комплекс UNET [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://nikator.in.ua/p36690587-telemetricheskij-kardiologicheskij-kompleks.html> 13. Электрокардиограф ВТЛ-08 SD3 с программным обеспечением стресс-теста [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bt.ua/products-spirometry-spirometry-bt-cardioint-spiro> 14. Кулик, С. Д. Методы и средства повышения эффективности информационных систем [Текст] / С. Д. Кулик, Д. А. Никонен, К. И. Ткаченко, И. А. Лукьянов // Журн. Радиотехника. – 2011. – Т.1. – С. 56–62. 15. Кобринский, Б. А. Медицинская информатика. Учеб. для студ. высш. учеб. заведений [Текст] / Б. А. Кобринский, Т. В. Зарубина - М.: Академия, 2009. – 192 с. 16. Информационная система прогнозирования исхода инфаркта миокарда [Текст] / Е. В. Высоцкая, С. В. Якубовская [и др.] // Сборник научных трудов 23-й Международной научно-практической конференции MicroCAD 2015 «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2015. – Т. III. – С. 35. 17. Спосіб прогнозування летального кінця інфаркту міокарда лівого шлуночка передньої локалізації [Текст] / А. І. Бих, О. В. Высоцька, В. В. Ніконов, С. В. Якубовська. – Пат. № 56702 UA, МПК G01N 33/573, G01N 33/53; заявник і патентовласник ХНУРЕ. – № Заявка u201008107, заявл. 29.06.2010.; опубл. 25.01.2011, Бул. № 2. 18. Нущнова, С. В. Определение функций выживания и рисков коронарной смерти пациентов с инфарктом миокарда [Текст] / С. В. Нущнова, А. И. Бых, В. В. Никонов, Е. В. Высоцкая // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2009. – №4/8 (40). – С. 11–15. 19. Ларичев, О. И. Вербальный анализ решений [Текст] / О. И. Ларичев. – М.: Наука, 2006. – 181 с.

Bibliography (transliterated): 1. Derzhavna sluzhba statistiki Ukraini. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua> 2. Arutyunov, G. P., Rozanov, A. V. (2005) Neoslozhnennyy ostryy infarkt miokarda s elevatsiyey segmenta ST. Sovremennyye standarty diagnostiki i lecheniya. Serdtse, T.4, №2 (20), 109–112. 3. Bogatirova, R. V. (2012). Shchorichna dopovid' pro rezultati diyal'nosti sistemi okhoroni zdorov'ya Ukraini. 2011 rik. Kyiv, 570. 4. Assiri, A., Lamba, M., Veinot, J. (2009). Chronic lymphocytic leukemia involving the coronary arteries with accompanying acute myocardial infarction. Cardiovascular Pathology, Vol.14, N.6, 324–326. 5. Lloyd-Jones, Donald, M. (2010). Cardiovascular Risk Prediction. Basic Concepts, Current Status, and Future Directions. Circulation of American Heart Association, 121, 1768–1777. 6. Elektronnoye spravochnoye rukovodstvo dlya vracha skoroy meditsinskoj pomoshchi. Infarkt miokarda. Bol'shaya meditsinskaya biblioteka. Available at: <http://www.med2000.ru/cito/cor.htm> 7. Bitukova, V. V., Sidorenko, Ye. A., Gurtovoy, B. L. (2003). Printsipy razrabotki avtomatizirovannoy sistemy diagnostiki zabolevaniy. Vestnik TGTU, T.9, № 2, 204–209. 8. Kochetov, A. G., Lyang, O. V., Masenko, V. P., Zhiron, I. V. (2012). Metody statisticheskoy obrabotki meditsinskikh dannykh. Moscow: RKNPK, 42. 9. Stupelis, I. G., Strutynskiy, A. V. (2004). Prognozirovaniye v kardiologii. Vilnyus: Arismos, 163. 10. Zbykovskiy, I. Ye. Proyektirovaniye SKS evolyutsionno-neyrosetevogo diagnostirovaniya zabolevaniy serdtsa. Available at: <http://ea.dgtu.donetsk.ua:8080/bitstream/123456789/6801/1/Zbykovskiy.pdf> 11. Postnova, T. B. (2003). Informatsionno-diagnosticheskiye sistemy v meditsine. Moscow: Nauka, 407. 12. ООО "Nikator". Telemetricheskij kardiologicheskij kompleks UNET. Available at: <http://nikator.in.ua/p36690587-telemetricheskij-kardiologicheskij-kompleks.html> 13. Elektrokardiograf BTL-08 SD3 s programmnyy obeshcheniyem stress-testa. Available at: <http://bt.ua/products-spirometry-spirometry-bt-cardioint-spiro> 14. Kulik, S. D., Nikonets, D. A., Tkachenko, K. I., Luk'yanov, I. A. (2011). Metody i sredstva povysheniya effektivnosti informatsionnykh sistem. Radiotekhnika, T.1., 56–62. 15. Kobrinskiy, B. A., Zarubina, T. V. (2009). Meditsinskaya informatika. Ucheb. dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy. Moscow: Akademiya. 192. 16. Vysotskaya, Ye. V., Yakubovskaya, S. V. (2015). Informatsionnaya sistema prognozirovaniya iskhoda infarkta miokarda. Sbornik nauchnykh trudov 23 Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 'MicroCAD' 2015 «Informatsionnyye tehnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, obrazovaniye, zdorov'ye». Kharkov: NTU «KHPi», T.III. 35. 17. Bikh, A. I., Visots'ka, O. V., Nikonov, V. V., Yakubov'ska, S. V. (2011). Spisib prognozuvannya leta'nogo kintsya infarktu miokarda livogo shlunochka peredn'oi lokalizatsii. Patent № 56702 UA, MPK G01N 33/573, G01N 33/53; zayavnik i patentovlasnik KHNURE. № Zayavka u201008107, zayavl. 29.06.2010.; opubl. 25.01.2011, Byul. № 2. 18. Nushnova, S. V., Bykh, A. I., Nikonov, V. V., Vysotskaya Ye. V. (2009). Opredeleniye funktsiy vyzhivaniya i riskov koronarnoy smerti patsiyentov s infarktom miokarda. Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy, 4/8 (40), 11–15. 19. Larichev, O. I. (2006). Verbal'nyy analiz resheniy. Moscow: Nauka, 181.

Поступила (received) 16.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the authors

Якубовская София Владимировна – аспирант, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; кафедра биомедицинской инженерии, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166; тел.: 068-061-38-43;

Якубовська Софія Володимирівна – аспірант, Харківський національний університет радіоелектроніки; кафедра біомедичної інженерії, пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166; тел.: 068-061-38-43; e-mail: sofi_star@mail.ru.

Yakubovskaya Sofia – post-graduate student, Kharkiv National University of Radioelectronics; Department of Biomedical Engineering, Lenin Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel.: 068-061-38-43; e-mail: sofi_star@mail.ru.

Никонов Вадим Владимирович – доктор медицинских наук, Харьковская медицинская академия последипломного образования; профессор, заведующий кафедры медицины неотложных состояний, медицины катастроф и военной медицины; ул. Корчагинцев, 58, г. Харьков, Украина, 61176; тел.: 050-970-94-76; e-mail: sofi_star@mail.ru.

Ніконов Вадим Володимирович – доктор медичних наук, Харківська медична академія післядипломної освіти; професор, завідувач кафедри медицини невідкладних станів, медицини катастроф і військової медицини, вул. Корчагинців, 58, м. Харків, Україна, 61176; тел.: 050-970-94-76; e-mail: sofi_star@mail.ru.

Nikonov Vadim – Doctor of Medicine, Kharkiv Medical Academy of Postgraduate Education; Professor, Head of Department medicine of emergency conditions, disaster medicine and military medicine, Korshagintsev st., 58, Kharkiv, Ukraine, 61176; tel.: 050-970-94-76; e-mail: sofi_star@mail.ru.

Порван Андрей Павлович – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; старший научный сотрудник кафедры биомедицинской инженерии, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166; тел.: 066-294-06-70; e-mail: porvan_a_p@mail.ua.

Porvan Andrii Pavlovich – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки; старший науковий співробітник кафедри біомедицинської інженерії, пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166;

Porvan Andrei – PhD, Kharkov National University of Radioelectronics; Senior Research Department of Biomedical Engineering, Lenina Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel.: 066-294-06-70; e-mail: porvan_a_p@mail.ua.

Довнар Александр Иосифович – кандидат технических наук, Харьковский национальный университет радиоэлектроники; доцент кафедры Биомедицинской инженерии, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166;

Довнар Олександр Йосипович – кандидат технічних наук, Харківський національний університет радіоелектроніки; доцент кафедри Біомедицинської інженерії, пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166;

Dovnar Alexander – Ph.D., Kharkiv National University of Radioelectronics; Associate Professor Department of Biomedical Engineering, Lenina Ave., 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; tel.: 067-575-75-16; e-mail: dov-alexandr@yandex.ua.

Чижик Елена Игоревна – студентка, факультет Электронной техники, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166; тел.: 067-574-90-01; e-mail: chizhik_nina@mail.ru.

Chizhik Olena Igorivna – студентка, факультет Електронної техніки, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Леніна, 14, м. Харків, Україна, 61166; тел.: 067-574-90-01; e-mail: chizhik_nina@mail.ru.

Chizhik Elena – student, Faculty of Electronic Engineering, Kharkiv National University of Radioelectronics, Lenina ave., 14, Kharkov, Ukraine, 61166; tel.: 067-574-90-01; e-mail: chizhik_nina@mail.ru.

УДК 656.222.3

Г. М. СІКОНЕНКО, К. А. МУХОРТОВА

УДОСКОНАЛЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ВАГОНОПОТОКІВ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Розглядається організація вагонопотоків з урахуванням наявності вагонів інших держав та компаній операторів. Підвищення дальності прямування поїздів істотно впливає на термін доставки вантажу за рахунок ліквідації переробки на попутних технічних станціях, що особливо важливо відносно вагонів що не належать Укрзалізниці, оскільки плата за їх використання значно вища. Пропонується збільшити транзитність вагонопотоку за рахунок формування неповновагових поїздів із поповненням до повної маси на шляху прямування за умови економічної доцільності згідно із наведеною моделлю. Результати досліджень можуть бути використані при розробці мережевого плану формування поїздів.

Ключові слова: вагонопотік, план формування поїздів, рівень транзитності, власний вагон.

Вступ. Однією із фундаментальних компонентів організації перевезень є робочий парк вагонів. В теперішній час доля вагонів що належать компаніям операторам та іншим державам складає 39 %. Питома вага перевезень що здійснюються компаніями-операторами стабільно зростає; згідно звітних даних за 2014р. у вагонах компаній операторів було перевезено понад 73млн. т вантажу що складає 20%. Більшість вагонів операторських компаній (31-32 тис вагонів) належать іноземним державам (Перша вантажна компанія України, Федеральна вантажна компанія). При організації роботи операторські компанії орієнтуються не на показники використання рухомого складу (порожній пробіг, продуктивність, вантажонапруженість), а на доходність у одиницю часу. Виникає парадоксальна ситуація: дії компанії оператора спрямовані на власну вигоду погіршують організацію експлуатаційної роботи залізниць. Даний феномен відображається у вигляді експлуатаційних показників які, традиційно вище для перевезень що здійснюється у вагонах Укрзалізниці у порівнянні компаній операторів. Таким чином однією із актуальних проблем сьогодення для залізниць є удосконалення організації ро-

боти з урахуванням обслуговування великої кількості приватних вагонів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Для розрахунку плану формування поїздів Укрзалізницею використовується методика [1] яка базується на фундаментальних методах розрахунку [2,3] які передбачають оцінку варіантів організації прямування вагонопотоків на мережі по витратах приведенних вагоно-годин, власність вагону не враховується.

Розвитком попередніх праць є оцінювання потенціалу транзитності вагонопотоку [4]. Розглядаються можливі варіанти збільшення дальності прямування за рахунок формування групових поїздів.

У роботі [5] обґрунтовується перехід від приведенних вагоно-годин до багатокритеріальної оптимізації на основі часу доставки, вагоно-кілометрів, кількості локомотивів на енерговитратам; вагонопотік вважається однорідним. Дослідження [6, 7] розглядають використання вагонів власності інших держав та компаній операторів при організації вагонопотоків, але не наведено моделей використання вагонів змішаного парку (з урахуванням вагонів власності держави).

© Г. М. Сіконенко, К. А. Мухортова. 2015

Автор роботи [8] при реалізації багатокритеріального автоматизованого розрахунку плану формування поїздів визначає необхідний технічний рівень розвитку інфраструктури без виділення пріоритетного вагонопотоку.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є удосконалення організації вагонопотоків з урахуванням пріоритетності. Процес вирішення поставленої проблеми включає розгляд наступних завдань:

- аналіз організації вагонопотоків в сучасних умовах;
- аналіз можливості підвищення рівня транзитності вагонопотоків;
- удосконалення плану формування поїздів за рахунок врахування пріоритетного вагонопотоку, варіації вагових норм та поповнення поїздів на шляху прямування.

Удосконалення організації вагонопотоків з урахуванням вагонів власності інших держав та компаній операторів. Суттєве підвищення ефективності організації перевезень в умовах значної кількості вагонів що не належить Укрзалізниці потребує комплексних заходів. До цього комплексу входять: удосконалення системи тарифів на залізничні перевезення, розвиток автоматизованих систем для взаємодії компаній-операторів між собою та залізницями, покращення системи організації вагонопотоків.

Сучасна система тарифів на залізничні перевезення є нащадком планової економіки часів СРСР. В умовах планової економіки акцент в організації роботи залізниць був на забезпеченні обороноздатності та здійсненню значних перевезень в умовах обмеженої провзної спроможності. Органічним у таких умовах є спрямованість на високі показники використання технічних засобів. При організації роботи компанії-оператора головною метою є отримання більшого доходу за одиницю часу, при цьому, за великим рахунком, компанію не цікавить які показники чи організаційні складнощі отримає залізниця. Тому в сучасних умовах дуже важливо переглянути складання тарифу на залізничні перевезення з урахуванням особливостей організації перевізного процесу в ринкових умовах.

Автоматизованої системи керування вантажними перевезеннями Укрзалізниці (АСК ВП УЗ) дозволяє здійснювати планування експлуатаційної роботи та динамічний контроль за її виконанням. В сучасних реаліях дуже важливо продовжувати розвиток даної системи з урахуванням значної кількості компаній операторів. Перспективним напрямком є створення технічної можливості по організації пулу вагонів що належать компаніям та використовуються ними узгоджено для власних потреб, враховувати інфраструктурні можливості та більшу кількість економічних критеріїв при підв'язці вагонів до замовлень.

Система організації вагонопотоків є одним із важливих інструментів організації роботи залізниць. Аналіз показників перевезень за останні 10 років свідчить, що доля відправлень які доставлені з перевищенням терміну доставки коливається у діапазоні 25-40%. При цьому більшу частину часу вагон знаходиться не у русі а на станціях; завантажені вагони, мають призначення на відстань у 2-2,5 разу більше, ніж місцезнаходження пунктів переробки [9,10]. Тому

необхідно збільшення відстані прямування вагону без переробки.

Задача підвищення транзитності вагонопотоку полягає в реалізації декількох етапів:

- 1) визначити різницю у відстані прямування кореспонденції вагонопотоку та поїзда (згідно існуючого плану формування поїздів);
- 2) встановити наскільки можна підвищити дальність прямування вагонів без переробки за рахунок формування поїздів певних категорій (наприклад групових поїздів з поповненням маси на шляху прямування);
- 3) визначити організаційні заходи для реалізації встановлених призначень.

Визначення раціонального плану поїздоутворення зручно навести у вигляді графу (рис. 1).

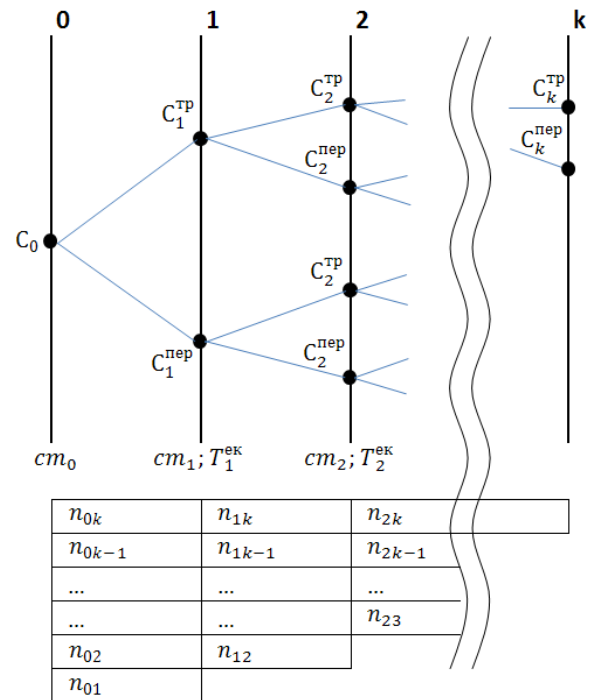


Рис. 1 – Граф формування поїздів з підвищенням транзитності

На графі представлено напрямок який складається із k станцій, що відображено у вигляді осей. У графіку суміщених струменів вагонопотоку (нижня частина рисунку) перелічені вагонопотоки, що прямують на полігоні від $-тої$ до k -тої станції – . Вершинами графу C_i позначені технічні станції визначені планом формування поїздів, які вагон може проходити з переробкою або транзитом C_i^{mp} . Для кожної станції графу визначаються витрати на накопичення складу cm_i та приведена економія від прослідування станції без переробки T_i^{ek} . Відповідно для станції C_i загальна потужність транзитних призначень що проходять станцію складатиме $\sum n_{i,i+1}$. Вершини графу поєднані між собою ребрами, послідовність ребер $C_i^{nep} \dots C_k^{nep}$ відповідає призначенню p_{ik} потужністю n_{ik} , що не виділене в наскрізне самостійне призначення ПФП загальною методикою розрахунку.

Існуючі методи розрахунку ПФП передбачають формування по кожній станції полігону поїзда встановленої вагової норми. Всі вагонопотоки, що не були виділені в самостійні призначення включаються до дільничних і будуть перероблятися на кожній попутній технічній станції на шляху прямування, що значно підвищує реалізований термін доставки та негативно впливає на конкурентоспроможність залізниць. Тому для призначень що не були виділені у самостійні доцільно розглянути можливість формування поїздів зменшеної норми з поповненням на шляху прямування. Наприклад розглянемо струмінь n_{ok} який не був виділений у самостійне призначення. Пропонується формування поїзду зменшеної ваги m' та здійснювати поповнення маси на попутних технічних станціях групами вагонів із вагонопотоків $n_{2k} \dots n_{k-2;k}$. Доцільність формування поїздів пропонується оцінити вартісним критерієм, оскільки витрати вагоно-годин, які використовуються у встановленій методиці розрахунку ПФП не враховують велику кількість факторів (зокрема різну вартість використання вагонів різних власників). Витрати на реалізацію плану формування можна оцінити як:

$$E = EE_{ек} - \Delta E_{пот} + \Delta E_{нак} + \Delta E_{ман} + \Delta t \quad (1)$$

де E – економія витрат, за рахунок прискорення переміщення вагонів у шляху прямування, скорочення простою на технічних станціях, зменшення використання технічних засобів станцій, перечеплення поїзних локомотивів, грн;

– додаткові витрати пов'язані із недовикористанням потужності локомотиву, збільшенню поїздів на графіку, грн;

– різниця вартості накопичення вагонів при перевезенні дільничними поїздами та при організації поповнення маси поїзда на шляху прямування, грн;

– різниця вартості маневрової роботи при формуванні дільничних поїздів та груп вагонів що причіпляються, грн;

– скорочення виплат за повернення власних вагонів, за несвоєчасну доставку вантажу, грн.

Висновки. Існуюча система організації вагонопотоків склалася в часи існування лише парку вагонів власності залізниці, тому на рівні розрахунку плану формування не враховує пріоритетний вагонопотік. У теперішній час парк вагонів власності інших держав та компаній операторів перевищує третину, а особливості його використання потребують суттєвих змін при розрахунках плану формування поїздів.

Пропонується удосконалення методів розрахунку плану формування поїздів на основі визначення можливості підвищення транзитності пріоритетного вагонопотоку за рахунок формування поїздів зменшеної ваги з поповненням по маршруту прямування. Ви-

бір варіантів формування поїздів здійснюється на основі приведених експлуатаційних витрат.

Реалізація запропонованих моделей дозволить зменшити переробку на попутних технічних станціях, скоротити термін доставки вантажу та підвищити ефективність використання технічних засобів залізничного транспорту.

Список літератури: 1. Інструктивні вказівки з організації вагонопотоків на залізницях України [Текст] / Затв. наказом Укрзалізниці від 29.12.2004 № 1028-ЦЗ. 2. Дувалян, С. В. Методы и алгоритмы решения задач планирования и учета на железнодорожном транспорте [Текст] / С. В. Дувалян // Труды ЦНИИ МПС. – 1969. – Вып. 401. – 256 с. 3. Попов, А. И. Расчет на ЭЦВМ плана формирования поездов по способу направленного перебора вариантов [Текст] / А. И. Попов // Железнодорожный транспорт – 1967. – № 2. – С. 42–46. 4. Аветикян, А. А. Исследование потенциала транзитности вагонопотоков на железнодорожном транспорте [Текст]: диссертация доктора техн. наук / А. А. Аветикян; ЦНИИТЭИ МПС. – М., 1982. – 276 с. 5. Асьминин, А. Т. Рациональная организация вагонопотоков на основе методов многокритериальной оптимизации [Текст]: диссертация доктора техн. наук / А. Т. Асьминин; Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта. – Самара, 2000. – 260 с. 6. Дегтярев, В. Г. О моделировании процессов управления вагонопотоками с учетом вагонов других государств [Текст] / В. Г. Дегтярев, С. Ю. Елисеев, В. И. Ковалев // Известия Петербургского университета путей сообщений. – 2004. – №2 – С.16–19. 7. Борodin, А. Ф. Адаптивное управление вагонопотоками [Текст] / А. Ф. Борodin // Железнодорожный транспорт, 2005. – № 1. – С. 33–37. 8. Раев, П. В. Развитие методов автоматизированного расчета плана формирования поездов с учетом параметров инфраструктуры железнодорожного транспорта [Текст]: диссертация кандидата техн. наук / П. В. Раев; Петербургский государственный университет путей сообщений. – Санкт-Петербург, 2006. – 156 с. 9. Малахова, О. А. Удосконалення управління вагонопотоками при збільшенні транзитності перевезень [Текст] / О. А. Малахова, К. Е. Таратюшка // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2012. – №133 – С. 105-109. 10. Сіконенко Г. М. Удосконалення технології перевезення вантажів за використанням вагонів власності інших держав [Текст] / Г. М. Сіконенко, А. А. Моніч // Вісник НТУ «ХПІ». – 2013. – №70(1043) – С. 66-70.

Bibliography (transliterated): 1. Zatverdzheno nakazom Ukrzaliznici vid № 1028-CZ (2004). Instruktivni vказivki z organizacii vagonopotokiv na zaliznicyah Ukraini. 2. Duvalyan, S. (1969). Metody i algoritmy resheniya zadach planirovaniya i ucheta na zheleznodorozhnom transporte. Trudy CNII MPS, 401, 256. 3. Popov, A. (1967). Raschet na ECVМ plana formirovaniya poezdov po sposobu napravlennoogo perebora variantov. Zheleznodorozhnyj transport, 2, 42–46. 4. Avetikyan, A. (1982). Issledovanie potenciala tranzitnosti vagonopotokov na zheleznodorozhnom transporte. dissertaciya doktora techn. CNITEI MPS, 276. 5. Asminin, A. (2000). Racionalnaya organizaciya vagonopotokov na osnove metodov mnogokriterialnoj optimizacii. dissertaciya doktora techn. Nauk. institut inzhenerov zheleznodorozhnogo transporta, Samara, 260. 6. Degtyarev, V., Eliseev, S., Kovalev, V. (2004). O modelirovanii processov upravleniya vagonopotokami s uchetom vagonov drugih gosudarstv. Izvestiya Peterburgskogo universiteta putej soobshhenij, 2, 16–19. 7. Borodin, A. (2005). Adaptivnoe upravlenie vagonopotokami. Zheleznodorozhnyj transport, 1, 33-37. 8. Raev, P. (2006). Razvitie metodov avtomatizirovannogo rascheta plana formirovaniya poezdov s uchetom parametrov infrastruktury zheleznodorozhnogo transporta. dissertaciya kandidata techn. nauk. Peterburgskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenij. Sankt-Peterburg, 156. 9. Malaxova, O., Taratushka, K. (2012). Udskonalennyya upravlinnya vagonopotokami pri zbilshenni tranzitnosti perevezen. Zbirnik naukovix prac UkrDAZT, 133, 105–109. 10. Sikonenko, G., Monich, A. (2013). Udskonalennyya texnologii perevezenyya vantazhiv z vikoristannyam vagoniv vlasnosti inshix derzhav. Visnik NTU «XPI», 70(1043), 66–70.

Надійшла (received) 26.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сіконенко Григорій Михайлович – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри «Управління експлуатаційною роботою»; майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків, Україна, 61050; тел.: 050-027-24-07; e-mail: gregsik79@gmail.com.

Мухортова Кристина Андріївна – студентка, Український державний університет залізничного транспорту, Кафедра «Управління експлуатаційною роботою», майдан Фейербаха, 7, м. Харків, Україна, 61050.

Сиконенко Григорій Михайлович – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри «Управління експлуатаційною роботою», площа Фейербаха, 7, г. Харків, 61050; тел.: 050-027-24-07; e-mail: gregsik79@gmail.com.

Мухортова Кристина Андріївна – студентка, Український державний університет залізничного транспорту, Кафедра «Управління експлуатаційною роботою», площа Фейербаха, 7, г. Харків, 61050.

Sikonenko Gregorii – candidate of technical sciences, Associate professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Feuerbach sq, 7, 61050; tel.: 050-027-24-07; e-mail: gregsik79@gmail.com

Mukhortova Christine – student, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Feuerbach sq, 7, 61050; tel.: 050-012-38-13.

УДК 004.942(519.876.5)

С. В. СИРОТА

МОДЕЛЬ СИНХРОНІЗАЦІЇ РОБОТИ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ ТРАНСПОРТНОГО ВУЗЛА ДОВІЛЬНОЇ ТОПОЛОГІЇ НА БАЗІ РЕСУРСНОЇ МЕРЕЖІ

Обґрунтовано використання ресурсної мережі для моделювання завантаженості регульованих перехресть в реальному часі. Запропонований підхід дозволяє досліджувати і порівнювати різноманітні модулі управління рухом на перехресті з метою оптимізації пропускної здатності транспортного вузла довільної топології, моделювати складні автотранспортні мережі великих міст з великою кількістю автомобілів. Розроблено дискретно-подієву модель перехрестя, та запропоновано структуру ресурсної мережі з допомогою, якої моделі перехресть поєднуються в модель дорожньої ділянки.

Ключові слова: ресурсні мережі, пропускна спроможність, адаптивні системи регулювання руху, транспортні потоки.

Вступ. Нагальною проблемою багатьох сучасних міст є оптимальне керування дорожнім рухом. Запобігання транспортних заторів зменшує кількість шкідливих викидів, підвищує безпеку руху та заощаджує час, який витрачає людина в транспорті і в результаті поліпшує якість життя в місті в цілому.

Необхідність впровадження автоматизованих систем керування дорожнім рухом сьогодні не викликає сумнівів. Основою таких систем є програмна модель транспортної системи реалізована з використанням спеціалізованих структур даних і дозволяє проводити аналіз здійсненності планів перевезень з виявленням «вузьких» місць в транспортно-логістичній системі з метою оптимізації планів перевезень в нормальному режимі та при проведенні масштабних заходів.

Зазвичай дорожній рух на регульованому перехресті в автоматичному режимі контролюється світлофором з фіксованим часом зміни сигналу або світлофором, режим перемикання якого змінюється в залежності від часу доби. В розвинутих країнах застосовуються адаптивні світлофори які автоматично відповідно до дорожньої ситуації змінюють час перемикання сигналу. Але перед тим як запровадити таку систему на реальному перехресті необхідно моделювання та дослідження її роботи і взаємодії з іншими перехрестями. Тому створення адекватних моделей транспортних вузлів є актуальною задачею.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Задача моделювання транспортних мереж є досить відомою задачею з 1736 року, часів Л. Ейлера та появи теорії графів [1]. Становлення поняття потокова мережа пов'язане з доведенням теореми про максимальний потік [2] та розробкою алгоритму Форда – Фалкерсона. Основи математичного моделювання закономірностей дорожнього руху були закладені на початку ХХ сторіччя. [3] Розгорнутий аналіз стратегій автома-

тизованого управління дорожнім рухом наведено в роботі [4]. Слід виділити підходи до моделювання транспортної мережі і моделювання роботи окремого перехрестя. Найпростішим варіантом є світлофор з фіксованим часом роботи кожного сигналу. Більш складним є той, тривалість сигналів якого встановлюється для певних проміжків доби, або навіть тижня. Такі ділянки руху поєднувались в системи пультового управління, роботу яких контролював диспетчер. Наступним етапом стало застосування адаптивних світлофорів, які мали датчики для відстеження транспортних засобів на в'їздах перехрестя і корегували час перемикання в залежності від їх показників. [5, 6]. Для моніторингу поточної ситуації на перехресті використовуються дані зі встановлених камер спостереження та різноманітні датчики, аналіз інформації з яких, дозволяє регулювати рух на перехресті в режимі реального часу із застосування нечіткої логіки [7] нейромережевого підходу та інших інтелектуальних методів.

Основним недоліком такого варіанту є неможливість автоматично адаптуватись до дорожньої ситуації на суміжних перехрестях і змінювати час перемикання сигналу відповідно до дорожньої ситуації на транспортному вузлі в цілому. Останнім часом було проведено ряд досліджень [8, 9] з метою порівняти ефективність застосування різноманітних методів керування адаптивним світлофором, результат яких показав доцільність побудови моделі транспортного вузла де адаптивні світлофори виступають в якості агентів.

Ціль та задачі дослідження. Метою даного дослідження є імітаційне моделювання транспортного вузла, що складається з декількох перехресть із адаптивними і фіксованими світлофорами для подальшої розробки методів оптимального керування його роботою. Модель повинна вирішувати питання підтримки прийняття

рішень при плануванні і оцінці ефективності заходів по зміні вулично-дорожньої мережі, забезпечувати порівняння варіантів схем організації дорожнього руху і планування заходів при проведенні робіт, пов'язаних з перекриттям ділянок доріг.

1. Задача полягає в об'єднанні модулів моделей перехрестя в потокову мережу. Стани мережі повинні обчислюватись в реальному часі.

2. Необхідно запропонувати поліноміально-обчислювану модель і оцінити її кількісні характеристики.

Застосування ресурсної мережі для моделювання транспортного вузла що складається з регульованих перехрестя. Загальна схема регульованого перехрестя запропонована в [8] приведена на рис. 1

При побудові його імітаційної моделі приймається, що кожний напрямок перехрестя («південь», «захід», «північ», «схід») має один вихід і 3 входи, сума входів складає вхід напрямку. Цифрами позначені фази світлофора, які дозволяють рух в певному напрямку. Протяжність фази вимірюється в кількості транспортних засобів, які можуть перетнути перехрестя в бажаному напрямку, тобто один такт моделі від-

повідає проїзду одного транспортного засобу (ТЗ) в дозволеному напрямку. Передбачається, що кількість ТЗ, що під'їхала на кожний вхід не перевищує довжини фази. Наприклад, стан входів перехрестя в початковий момент відповідає третьому рядку табл. 1.

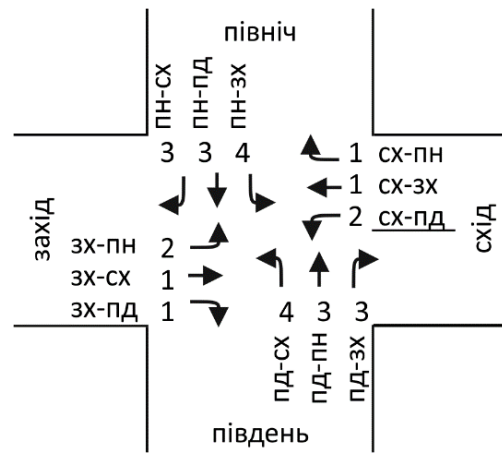


Рис. 1 – Схема регульованого перехрестя з 4 фазами руху

Таблиця 1 – Алгоритм розрахунку стану світлофора

фаза	тривалість	схід				захід				північ				південь			
		сх-пн	сх-зх	сх-пд	вих	зх-пн	зх-сх	зх-пд	вих	пн-сх	пн-пд	пн-зх	вих	пд-сх	пд-пн	пд-зх	вих
		1	3	4		3	6	4		2	3	1		0	3	2	
1	4	2	2	0	4	1	2	1	4	0	4	0	3	1	1	1	4
		0	1	4		4	4	1		2	7	1		1	4	3	
2	2	1	1	0	2	0	2	0	0	2	0	0	2	1	0	1	0
		1	2	2		2	6	1		4	7	1		2	4	4	
3	10	3	3	1	7	2	4	2	5	3	4	3	9	3	5	1	10
		4	5	3		4	10	3		0	1	4		5	0	0	
4	5	0	2	2	5	1	2	2	4	2	2	0		1	2	3	0
		4	7	5		5	12	5		2	3	0		1	2	3	

Протягом 1-ї фази, тривалість якої складає 4 такти в дозволеніх напрямках, на/з перехрестя в'їздить/виїздить кількість ТЗ вказана в четвертому рядку. Стан перехрестя на початок 2-ї фази, відображений у п'ятому рядку розраховується шляхом додавання значень початкового стану напрямків і кількості ТЗ, що під'їхали протягом фази, віднімання кількості ТЗ що проїхала в дозволеному напрямку. Таким чином описуються правила переходу станів перехрестя від одного до іншого. Для світлофора з фіксованим часом перемикавання тривалість кожної фази буде постійною, а для адаптивного буде тим або іншим чином змінюватись в залежності від стану входів. В [7, 8] розглядалася модель управління світлофором що використовує нечітку логіку. Функціональна схема моделі наведена на рис. 2. При цьому «Модуль керування фазами руху» є змінюваним.

Для поєднання моделей перехрестя в модель транспортного вузла пропонується використовувати ідею ресурсної мережі [10].

Ресурсна мережа – потокова модель, представлена орієнтованим зваженим графом, в якому будь-які дві вершини або несуміжні, або сполучені парою про-

тильно орієнтованих ребер. Ресурс розташовується у вершинах, що мають необмежену місткість, ваги ребер означають їх пропускну спроможність. У дискретні моменти часу вершини обмінюються ресурсами за наступними правилами.

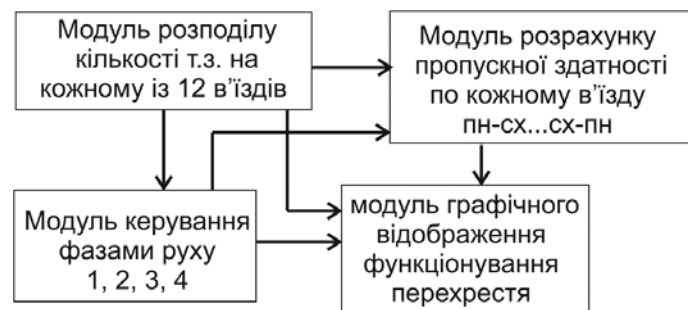


Рис. 2 – Модульна схема моделі регульованого перехрестя з 4 фазами руху

До вершин v_i приписані ресурси в розмірі $Q_i(k)$, які в дискретний момент часу t змінюються. Ребрам (v_i, v_j) приписані провідності r_{ij} . При кількості вершин

n загальний стан системи на k -му такті описується як $Q(k) = (Q_1(k), \dots, Q_n(k))$.

$R = \|\|r_{ij}\|\|_{n \times n}$ – матриця провідності мережі,
 $r_{sum} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}$ – сумарна провідність мережі,
 $r_i^{in} = \sum_{j=1}^n r_{ji}$ – вхідна провідність вершини,
 $r_i^{out} = \sum_{j=1}^n r_{ij}$ – вихідна провідність вершини.

В такт $k+1$ вершина v_i в ребро, поєднуюче її з вершиною v_m , віддасть:

1. r_{im} одиниць ресурсу, якщо $q_i(t) > r_i^{out}$;
2. $\frac{r_{im}}{r_i^{out}} q_i(t)$, якщо $q_i(t) < r_i^{out}$.

Згідно правила 1 вершина віддає кількість ресурсу рівну її вихідній провідності. В другому випадку вона віддає увесь свій ресурс.

Ресурс, що виходить з вершини v_i по ребру (v_i, v_j) на такті k , приходить у вершину v_j на такті $k+1$. Відповідно, вважаємо, що цей ресурс на проміжку часу між k та $k+1$ знаходиться на ребрі (v_i, v_j) . (рис. 3).

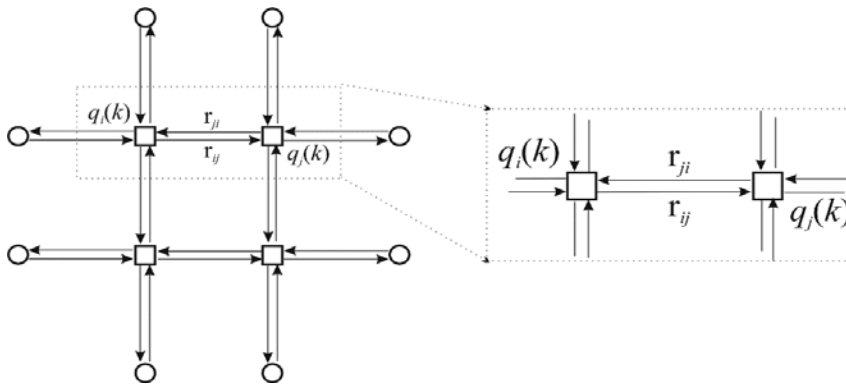


Рис. 3 – фрагмент ресурсної мережі для моделювання суміжних перехресть

Для імітаційного моделювання перехрестя пропонується використовувати ресурсну мережу з ребрами провідності $r_{ij} = 1$ так, що за кожен такт роботи від вершини до вершини може бути передано **одну** одиницю ресурсу, при цьому модифікувати правила роботи вершини ресурсної мережі відповідно до моделі перехрестя. Вершина віддає одиницю ресурсу в ребро, якщо одиниця є на відповідному виході. Стан перехрестя на кожному такті записується 18-мірним масивом. Кожен наступний такт розраховується за правилом таблиці 1, відповідно до поточної фази та її довжини. Як видно із рис. 3, перехрестя має чотири вхідні ребра і чотири вихідні, але кожен вхід мусить бути розподілений на 3 виходи. Як правило, існує статистика роботи перехрестя отримана за результатами імперичних спостережень. Нехай з імовірністю q транспортні засоби на в'їзді повертають праворуч, а з імовірністю p – ліворуч тоді $1-q-p$ – ймовірність того, що ТЗ рухатиметься прямо. Тоді можна використовувати генератор рівномірно розподіленої випадкової величини $x \in [0;1]$ і блок, який буде розподіляти одиницю вхідного ресурсу за правилом (рис. 4).

В схемі рис. 3 одиниця, що потрапила на певний вихід вершини, наступного такту потрапить на один із входів суміжної. Така ситуація не враховує відстань між перехрестями, тому вводиться спеціальний тип вершини

з одним вхідним ребром і одним вихідним, який відповідає вулиці довжини в «один такт». Така вершина має характеристику l і функціонує за принципом черги довжиною l . В чергу за кожен такт ставляться 0 або 1 і вилучаються згідно порядку надходження. Замість черги можуть служити l вершин з'єднаних послідовно. Для моделювання реальних ділянок дорожнього руху необхідно ввести термінальні, або крайові вершини які означають прибуття та виїзд ТЗ з досліджуваної ділянки.

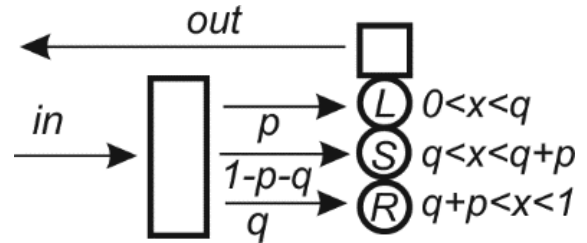


Рис. 4 – розподіл вхідного потоку ТЗ за напрямками руху на перехресті

Результати побудови моделі реальної дорожньої ділянки.

Для прикладу було взято ділянку центральної частини Манхетена (штат Нью-Йорк США) оскільки на ній всі перехрестя обладнані світлофорами і вулиці мають виражену вертикально-горизонтальну топологію. Приймаючи до уваги, те що вулиці в досліджуваному районі мають односторонній рух, граф містить по одному направленому ребру між кожним перехрестям і моделі перехресть мають менше дозволених напрямків (рис. 5).

Кількість транзитних вершин між перехрестями визначається за пропорціями карти, оскільки карта є масштабною.

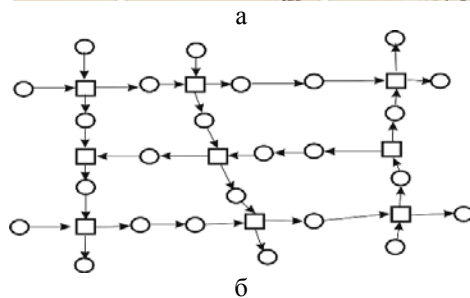
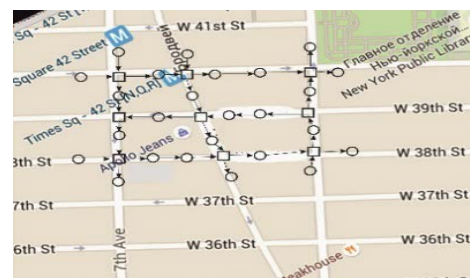


Рис. 5 – Модель ділянки дорожнього руху: а – карта, б – отриманий граф

Обговорення результатів, оцінка обчислювальної складності моделі. Побудована модель в сенсі комп'ютерного представлення являє собою вектор станів вершин ресурсної мережі. Сама мережа задається списком ребер. Граф мережі містить три типи вершин: перехрестя, транзитні і термінальні. Транзитні вершини не вимагають додаткового ресурсу, стан термінальних вершин обраховується окремим модулем, який регулює баланс кількості ТЗ на дорожній ділянці та відображає більш ймовірні напрямки в'їзду. Стан вершин, які відповідають перехрестям прораховується один раз при зміні фази, тобто раз на 2-10 тактів. Також кожного разу, коли перехрестя отримує на вхід одиницю ресурсу, необхідно викликати модуль розподілу вхідного потоку за напрямками перехрестя (рис. 4).

Припустимо, що модель містить N вершин, з яких M перехресть, на кожен вершину в середньому приходиться 2 вхідних ребра, тобто порядок росту кількості елементарних операцій на одному такті від кількості вершин складатиме $O(N)$. Це означає здатність моделі відображати транспортні системи великих міст.

В теперішній час відома достатня кількість різноманітних систем транспортного моделювання [11-14] які використовують дискретно-подієвий підхід. Такий підхід є більш ефективним з точки зору продуктивності системи моделювання, але вважався більш складним в розробці. Застосування ресурсної мережі вирішило дану проблему.

Висновки. В результаті проведених досліджень проаналізовані системи імітаційного моделювання транспортного руху, Застосовано ресурсномережевий підхід для дискретно-подієвого імітаційного моделювання автотранспортної системи.

Модулі моделей перехресть поєднано між собою з допомогою ресурсної мережі. Отримана модель є має $O(N)$ обчислювальну складність. Така система дозволить моделювати складні автотранспортні мережі великих міст з великою кількістю автомобілів, а також скоротити фінансові витрати на планування та організацію оптимального дорожнього руху міста.

Список літератури: 1. Боголюбов, А. Н. Математики. Механики. Биографический справочник [Текст] / А. Н. Боголюбов. – Киев: Наукова думка, 1983. – 639 с. 2. Vazirani, V. V. Introduction to LP-Duality [Text] / V. V. Vazirani // Approximation Algorithms. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2003. – P. 93–107. 3. Лобашов, О. О. Моделирование транспортных потоков в містах з урахуванням мережі паркування автомобільного транспорту [Текст] / О. О. Лобашов, О. В. Прасоленько // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 1/5(43). – С. 8–9. 4. Papageorgiou, M. Review of road traffic control strategies [Text] / M. Papageorgiou, C. Diakaki, V. Dinopolou, A. Kotsialos, W. Yibing // Proceedings of the IEEE. – 2003. – Vol. 91, № 12. – P. 2043–2067. doi: 10.1109/JPROC.2003.819610 5. Pappis, C. P. A fuzzy logic controller for a traffic junction [Text] / C. P. Pappis, E. H. Mamdani // Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions. – 1977. – Vol. 7, № 10. – P. 707–717. 6. Niittymäki, J. Traffic signal control on similarity logic reasoning [Text] / J. Niittymäki, E. Turunen // Fuzzy Sets and Systems. – 2003. – № 133. – P. 109–131. 7. Balaji, P. G. Type-

2 fuzzy logic based urban traffic management [Text] / P. G. Balaji, D. Srinivasan // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2011. – Vol. 24, № 1. – P. 12–22. 8. Сирота, С. В. Модель адаптивної системи регулювання дорожнього руху на перехресті з використанням нечіткої логіки [Текст]: зб. тез. доп. / С. В. Сирота, О. С. Душин // Сьома наук. конф. магістрантів та аспірантів "Прикладна математика та комп'ютеринг" (ПМК, 2014), Київ, 15-17 квіт. 2015 р. – К.: Просвіта, 2015. 9. Сирота, С. В. Модель синхронізації роботи адаптивних систем регулювання дорожнього руху на суміжних перехрестях [Текст] / С. В. Сирота, О. С. Душин // Матеріали 17-ї Міжнародної науково-технічної конференції "Системний аналіз та інформаційні технології" (SAIT 2015), Київ, 22-25 червня 2015 р. – К.: ННК "ІІСА" НТУУ "КПІ", 2015. – 304 с. 10. Кузнецов, О. П. Исследование эргодичности ресурсных сетей с произвольной проводимостью [Текст]: сб. тр. / О. П. Кузнецов, Л. Ю. Жилкова // Интеллектуальный анализ информации ИАИ-2004, Киев, 14-16 мая 2010 г. – К.: Просвіта, 2010. – С. 106–112. 11. Голубков, А. С. Адаптивное управление дорожным движением на городском перекрестке на базе микроскопической дискретно-событийной модели транспортных потоков и оптоэлектронного метода контроля. [Электронный ресурс] / А. С. Голубков, В. А. Царев. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.mallenom.ru/Docs/AdaptiveControl.pdf>. 12. Aimsun. The integrated transport modeling software [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://www.aimsun.com> 13. Quadstone Paramics. Traffic Simulation Solutions [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://www.paramicsonline.com>. 14. SATURN Software Web Site [Electronic resource]. – Available at: \www/URL: <http://saturnsoftware.co.uk>.

Bibliography (transliterated): 1. Bogolubov, A. N. (1983). Matematiki. Mehaniki. Biograficheskij spravocnik. Kyiv: Naukova Dumka, 639.2. Vazirani, V. V. (2003). Introduction to LP-Duality. In Approximation Algorithms. Berlin, Heidelberg: Springer, 93–107.3. Lobashov, O., Prasolenko, O. (2012). The traffic modelling in cities taking into account the network of motor transport parking. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 1(5(43)), 8-9. Available: <http://journals.urau.ua/eejet/article/view/2568.4>. 4. Papageorgiou, M., Diakaki, C., Dinopolou, V., Kotsialos, A., Yibing, W. (2003). Review of road traffic control strategies. Proceedings of the IEEE, Vol. 91, № 12, 2043-2067. doi: 10.1109/JPROC.2003.819610.5. Pappis, C. P., Mamdani, E. H. (1977). A fuzzy logic controller for a traffic junction. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions, Vol. 7, № 10, 707–717.6. Niittymäki, J., Turunen, E. (2003). Traffic signal control on similarity logic reasoning. Fuzzy Sets and Systems, № 133, 109–131.7. Balaji, P. G., Srinivasan, D. (2011). Type-2 fuzzy logic based urban traffic management. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 24, № 1, 12–22.8. Syrota, S., Dushin, O. (2015). Model' adaptivnoji systemy reguluvannya dorozhn'ogo ruhu na perekhrestii z vikoristanniam nechitkoji logiki. In VII International conference «PMC-2015», Vol. 7, Kyiv: Prosvita, 106–112.9. Syrota, S., Dushin, O. (2015). Model Sinhronizatsii Roboty Adaptivnyh Sistem Reguluvannya Dorozhniogo Ruhу na Sumizhnyh Perehrestiah. Proceedings of 17-th International Scientific Conference SAIT 2015. ESC "IASA" NTUU "KPI", 304.10. Zhiliakova, L., Kuznetsov, O. (2010). Issledovanie Ergodichnosti Resursnyh Setej s Proizvolnoj Provodimostju. In X International conference «IAI 2010», Vol. 10, Kyiv: Prosvita, 106–112.11. Golubkov, A., Tsarev, V. (2015). Adaptivnoje Upravlenie Dorozhnym Dvizhenijem na Gorodskom Perekriostke na Baze Mikroskopicheskoi Diskretno-Sobyitnoji Modeli Transportnyh Potokov I Optoelektronnogo Metoda Kontroliia. Available: <http://www.mallenom.ru/Docs/AdaptiveControl.pdf>. Last accessed: October 26, 2015.12. TSS-Transport Simulation Systems. (2015). Available: <http://www.aimsun.com>. Last accessed: October 26, 2015.13. Quadstone Paramics. Traffic Simulation Solutions. (2015). Available: <http://www.paramicsonline.com>. Last accessed: October 26, 2015.14. SATURN Software Web Site. (2015). Available: <http://saturnsoftware.co.uk>. Last accessed: October 26, 2015.

Надійшла (received) 26.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Сирота Сергій Вікторович – кандидат технічних наук. Факультет прикладної математики НТУУ «КПІ», доцент кафедри прикладної математики; пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056; e-mail: sergiy.syrot@gmail.com.

Сирота Сергей Викторович – кандидат технических наук. Факультет прикладной математики НТУУ «КПИ», доцент кафедры прикладной математики; пр. Победы, 37, м. Киев, 03056.

Sergiy Syrota – PhD. National Technical University of Ukraine "Kiev's Polytechnic Institution", associated professor of Applied Mathematic Department. 37, Peremohy ave. Kyiv, Ukraine 03056; tel.: 067-466-69-98

УДК 004.413.2

І. Г. ДОБРОТВОР, П. Р. СТРУБИЦЬКИЙ, І. П. СТРУБИЦЬКА

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ МЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ БРОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Для управління проектом броварного виробництва використано метод мережевого планування та управління. Визначено склад робіт проекту, встановлено логічну послідовність робіт та подій, визначено тривалість виконання робіт. Проведено планування комплексу маркетингу броварного підприємства, побудовано мережеву модель робіт. Обчислено основні показники мережевої моделі (ранній термін початку, ранній термін закінчення, пізній термін закінчення, пізній термін початку, повний резерв часу, незалежний резерв) та коефіцієнт напруженості. Проведено оптимізацію мережевої моделі за рахунок резервних робіт.

Ключові слова: управління проектами, мережева модель, мережеве планування, броварне виробництво, оптимізація моделі, організація управління, розрахунок мережевої моделі, планування виробництва.

Вступ. Вітчизняне пивоварне виробництво розвивається в основному за рахунок великих та середніх підприємств. Більшість малих пивзаводів не змогли знайти своє місце на українському ринку і не мають коштів ні для технічного переустаткування, ні для створення власної мережі збуту. Ці заводи або припиняють виробництво пива, або стають власністю великих підприємств. Таке “поглинання” великими виробниками малих дає останнім можливість не зупиняти власне виробництво, що сприяє розвитку пивної галузі економіки та забезпеченню зайнятості населення.

Пивоварня “Бровар”, що розташована в Микулинцях на Тернопільці (Україна), – це єдина пивоварня в Україні, яка варить живе непастеризоване пиво. Микулинський пивзавод є найстародавнішим на території України.

Сьогодні український ринок перенасичений різноманітним асортиментом пива, що випускаються великими пивними компаніями, які інвестуються з-за кордону. Тому підприємству, яке намагається вижити за власні зароблені кошти, триматися на плаву нелегко. Боротися за лідерство під силу лише тим виробникам, що гарантують високу якість продукції. Для ВАТ “Бровар” – це домінуюча ознака, головний фактор, який в усі часи допомагав бути в числі перших.

Продукція заводу є унікальною, а саме живим непастеризованим пивом, і такою є єдиною в Україні. Саме тому попит на це пиво є дуже великим і тому коштів на рекламу порівняно витрачається мало. Виставляються рекламні щити, проводиться розробка нових видів етикетки, брошур, плакатів на яких головна увага зосереджується на якості продукту. Проводиться незначна реклама на місцевих радіостанціях і телебаченні в основному, щоб привітати споживача з Великодніми та Різдяними святами і з метою нагадувати споживачам про товар.

Рекламна підтримка тих, хто продає пиво, а саме дилерів, відіграє дуже велику роль в реалізації пива на ринку. Касатони, бокали, підставки під бокали, обладнання для охолодження та розливу пива, холодильні вітрини – все це реклама в торгівлі.

На даному етапі ВАТ “Бровар” активно розвивається на ринку пивоварної галузі, збільшуючи продажі завдяки виходу на нові ринки збуту з наявним асортиментом товарів, при цьому орієнтуючись на нові географічні регіони. Продукція заводу є однією з найдорожчих на території України. На Микулинській пивоварні виготовляється справжнє «живе» непастеризоване пиво з України (не належить транснаціональному пивному холдингу та виготовляється за власними оригінальними рецептами) з використанням традиційних технологій

пивоваріння. Крім того відмітними характеристиками товарного асортименту є виробництво медового пива (немає аналогів в Україні), пшеничного пива нижнього бродіння (немає аналогів в світі), а також наявність подарункового варіанту упаковки.

Мета роботи. Виходячи з існуючого стану (використання інноваційних підходів і широкого спектру відмітних характеристик товарного асортименту ґрунтованих на високій якості та передових технологіях на широкому спектрі сегментів ринку) маркетингової діяльності можна стверджувати, що стратегія диверсифікації – оптимальний варіант вдосконалення маркетингового планування для ВАТ «Бровар». Дотримання даної стратегії, підкріплене стійким фінансовим станом підприємства і відмітними товарними властивостями (цілком натуральний продукт, унікальна смакова гама та ін.), дозволить позитивно виділити пиво, вироблене на Микулинській пивоварні, серед аналогічних товарів конкурентів і отримати значну ринкову силу.

Отже, метою роботи є створення мережевої моделі броварного виробництва.

Модель диференціації дозволить:

1. Знизити можливість заміни товару стосовно прямих конкурентів, підсилити прихильність до марки, знизити чутливість до ціни і тим самим підвищити рентабельність;
2. Завоювати прихильність серед клієнтів, послабити їхній тиск на фірму та ускладнити прихід на ринок нових конкурентів;
3. Збільшити стійкість до можливого росту витрат в у результаті дій сильних постачальників за рахунок підвищеної рентабельності;
4. Завоювати прихильність споживачів відмітними властивостями товару і тим самим захистити підприємство від товарів-замінників.

Стратегія диференціації вимагатиме від ВАТ «Бровар» значних інвестицій в операційний маркетинг з метою максимально повного сповіщення ринку про особливі специфічні властивості товару.

Тому головна стратегічна мета Микулинського пивзаводу – випередження конкурентів, щоб одноосібно зайняти ринкову нішу, де конкуренція ще досить мала.

Розробка мережевої моделі броварного виробництва. Найбільш ефективним в управлінні розробкою і впровадженні проекту є застосування методу мережевого планування і управління (СПУ). Календарне планування [1, 2] в рамках СПУ здійснюється шляхом побудови укрупнених і деталізованих мережевих гра-

фіків. У мережевих графіках (мережевих моделях) відображається весь комплекс проектних робіт. Після визначення складу робіт з розробки та впровадження проекту встановлюють логічну послідовність робіт і подій, призначають виконавців і визначають тривалість виконання робіт. Тривалість робіт (t очікувань (ij)), як правило, визначається експертним методом за формулами [3]:

$$t_{ож(ij)} = \frac{t_{\min} + 4t_{н.в.} + t_{\max}}{t},$$

або

$$t_{ож(ij)} = \frac{3t_{\min} + 2t_{\max}}{5},$$

де t_{\min} , $t_{н.в.}$, t_{\max} – мінімальний, найбільш ймовірний та максимальний час виконання роботи (ij), що визначається експертом.

Перелік робіт та їх тривалість зведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Перелік та тривалість робіт з розробки та впровадження проекту

Код роботи	Найменування роботи	Кількість виконавців, чел.	t_{\min} , дн.	$t_{н.в.}$, дн.	t_{\max} , дн.	Тривалість роботи ($t_{ож}$), дн.
0-1	Визначити мету проектування	3	2	4	5	3
1-2	Визначити джерела фінансування	1	6	9	12	8
2-3	Сформувати проектну групу, призначити відповідальних керівників	1	3	4	5	4
1-3	Розробити систему планування, обліку і стимулювання діяльності проектної групи	2	14	16	18	16
3-4	Розробити та затвердити план робіт	3	7	9	10	8
4-5	Розробити методичне та нормативне забезпечення	2	20	24	28	23
4-6	Провести діагностичне обстеження	1	5	9	12	8
6-5	Провести робочу обстеження	1	4	7	9	6
5-7	Вивчити документи - підстави для проектування маркетингової системи	1	3	4	5	4
7-8	Вивчити матеріали і рекомендацій перед-проектного обстеження	1	1	2	3	2
5-8	Вивчити літературу про прогресивні наукові розробки та досвід кращих аналогічних підприємств з проектування	2	6	8	9	7
8-9	Скласти технічне завдання	3	3	4	5	4
9-10	Затвердити технічне завдання	3	2	3	4	3
10-11	Вивчити ТЗ на проектування	2	2	3	4	3
10-12	Вивчити інформацію про передовий досвід інших підприємств	1	6	8	9	7
11-12	Вивчити інструкції, методичні вказівки і нормативи	2	4	5	6	5
12-13	Прийняття організаційних рішень з основних напрямів проектування	1	4	6	7	5
13-14	Визначити очікуваний економічний ефект від впровадження проекту	1	1	2	2	1
12-14	Провести експертизу і затвердити комплект документації з технічного проектування	2	4	6	8	6
14-16	Уявити матеріали з організації впровадження проекту	1	1	2	3	2
16-15	Представити супутню документацію	1	1	3	4	2
14-15	Розробити рекомендації щодо впровадження проекту	2	6	9	12	8
15-18	Сформувати програмно-цільову групу, відповідальну за виконання робіт з реалізації проекту	1	3	5	7	5
18-17	Вивчити комплект робочої документації з проектування	1	6	8	10	8
15-17	Забезпечити матеріально-технічну підготовку	2	14	22	30	20
17-19	Провести навчання, перепідготовку та підвищення кваліфікації працівників служби маркетингу	3	50	70	90	66
19-20	Здійснити соціально-психологічну підготовку	3	7	11	14	10
20-21	Розробити систему стимулювання	3	20	25	30	24
21-22	Реалізація проекту	3	30	40	50	38
22-23	Розрахувати фактичний економічний ефект	3	15	20	25	19

За даними табл. 1 можна визначити загальну тривалість здійснення проекту: 262 дні.

Дослідження програмних продуктів, які забезпечують підтримку управління проектами на підприємстві, дає можливість ефективного управління. Останнє – неможливе без використання сучасних наукових підходів, оскільки зростають розміри проектів, частота їх виконання, обсяги інформації [4].

Дії з організації управління представимо як формуючі, впорядковуючі і регулюючі. Характер дій визначає методичні підходи, методи та прийоми, які є інструментами організаційних механізмів. Це методи розділення цілого на елементи і методи об'єднання. Основними елементами мережевої моделі є робота (стрілка) і подія (кружечок). На рис. 1 та 2 наведені мережеві моделі прикладу комплексу робіт з маркетингу броварного виробництва. Мережева модель складається з 11 подій і 16 робіт, тривалість виконання яких вказана над роботами. У графічному поданні (рис. 1) робота зображується стрілкою, що з'єднує дві події. Вона позначається парою чисел (i, j) у дужках, де i - номер події, з якої робота виходить, а j - номер події, у яку вона входить.

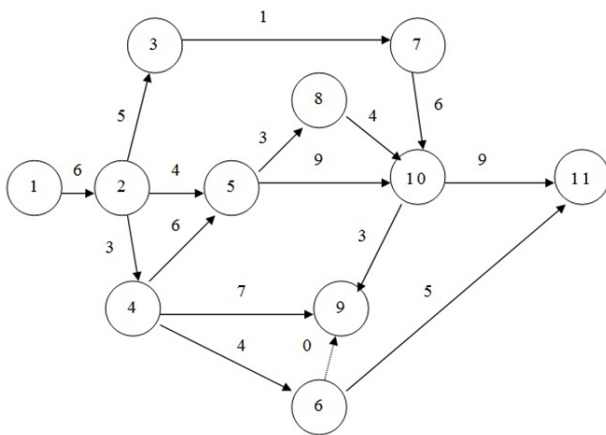


Рис. 1 – Мережева модель броварного виробництва

На рис. 1 представлено такі події: 1 - отримано завдання на планування з фінансуванням; 2 - виконано аналіз методичних документів з планування; 3 - виконано аналіз методичних документів з моделювання; 4 - виконаний прогноз основних параметрів плану; 5 - виконані роботи з моделювання нормативів; 6 - проаналізований альтернативний прогноз параметрів плану; 7 - виконані роботи по альтернативному моделюванню; 8 - відкориговані роботи з моделювання нормативів; 9 - виконані роботи з оптимізації нормативів; 10 - виконано економічне обґрунтування нормативів; 11 - розроблений проект нормативів.

Кожна робота має певну тривалість $t(i, j)$. Наприклад, запис $t(2, 4) = 3$ означає, що робота (2, 4) має тривалість 3 одиниці. До робіт відносяться також такі процеси, які не вимагають ні ресурсів, ні часу виконання. Такі роботи є фіктивними і на графіку зображуються пунктирними стрілками.

Шлях, або ж ланцюжок наступних робіт, що з'єднують початкову і кінцеву вершини, у наведеній вище моделі є $L_1 = (1, 2, 3, 7, 10, 11)$, $L_2 = (1, 2, 4, 6, 11)$ та ін.

Величина шляху визначається сумою тривалостей складових його робіт. Шлях, що має максимальну довжину, називають критичним і позначають $L_{кр}$, а його тривалість – $t_{кр}$. Несвочасне виконання робіт, що належать до критичного шляху, веде до зриву термінів всього комплексу робіт [5, 6].

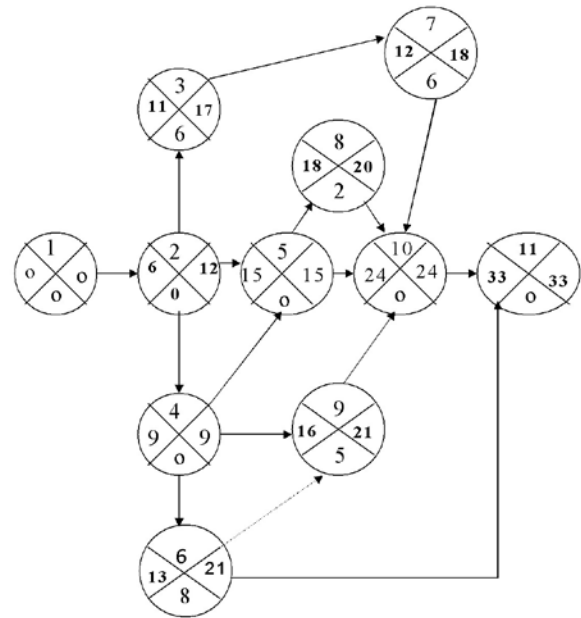


Рис. 2 – Розрахункова схема мережевої моделі

Для подій розрахуємо три характеристики: ранній і пізній термін здійснення події, а також його резерв [3, 4, 7]. Ранній термін звершення події визначається величиною найтривалішого відрізка шляху від вихідної до аналізованої події, причому $t_p(1) = 0$, а $t_p(N) = t_{кр}(L)$:

$$t_p(j) = \max\{t_p(i) + t(i, j)\}, \quad j = 2, \dots, N.$$

Пізній термін звершення події характеризує найпізніший допустимий термін, до якого має відбутися подія, не викликаючи при цьому зриву терміну звершення кінцевого події:

$$t_n(i) = \min\{t_n(j) - t(i, j)\}, \quad j = 2, \dots, N - 1.$$

Цей показник визначається «зворотним ходом», починаючи з завершальної події, з урахуванням співвідношення $t_n(N) = t_p(N)$.

Всі події, за винятком подій, що належать критичного шляху, мають резерв $R(i)$:

$$R(i) = t_n(i) - t_p(i).$$

Резерв показує, на якій гранично допустимий термін можна затримати настання цієї події, не викликаючи при цьому збільшення терміну виконання всього комплексу робіт. Для всіх робіт (i, j) на основі ранніх і пізніх термінів звершення всіх подій можна визначити показники:

$$\text{ранній термін початку} - t_{pn}(i, j) = p(i),$$

$$\text{ранній термін закінчення} - t_{pz}(i, j) = t_p(i) + t(i, j),$$

$$\text{пізній термін закінчення} - t_{ns}(U) = t_n(j),$$

пізній термін початку – $t_{mn}(i, j) = t_n(j) - t(i, j)$,
 повний резерв часу –
 $R_{mn}(i, j) = t_p(j) - t(i) - t(i, j)$.
 незалежний резерв –
 $R_n(i, j) = \max\{0; t_p(j) - t_n(i) - t(i, j)\} =$
 $= \max\{0; R_n(i, j) - R(i) - R(j)\}$.

Шлях характеризується двома показниками – тривалістю і резервом. Тривалість шляху визначається сумою тривалостей складових його робіт. Резерв визначається як різниця між довжинами критичного і розглянутого шляхів. Роботи, що лежать на критичному шляху, і сам критичний шлях мають нульовий резерв часу [2, 8].

Перераховані вище характеристики мережевої моделі можуть бути отримані на основі наведених аналітичних формул, а процес обчислень відображений безпосередньо на графіку, та в таблиці.

Таблиця 2 – Розрахунок основних показників мережевої моделі

K_{np}	(i,j)	$t(i,j)$	$t_{pn}(i,j) = t_p$	$t_{no}(i,j)$	$t_{nn}(i,j)$	$t_{no}(i,j) = t_n$	R_n	R_n	K_n
1	2	3	4	$5=4+3$	$6=7-3$	7	8	9	10
0	(1,2)	6	0	6	0	6	0	0	1
1	(2,3)	5	6	11	12	17	6	0	0,67
1	(2,4)	3	6	9	6	9	0	0	1
1	(2,5)	4	6	10	11	15	5	5	0,44
1	(3,7)	1	11	12	17	18	6	0	0,67
1	(4,5)	6	9	15	9	15	0	0	1
1	(4,6)	4	9	13	17	21	8	0	0,47
1	(4,9)	7	9	16	14	21	5	0	0,67
2	(5,8)	3	15	18	17	20	2	0	0,78
2	(5,10)	9	15	24	15	24	0	0	1
1	(6,9)	0	13	13	21	21	8	0	0,38
1	(6,11)	5	13	18	28	33	15	7	0,38
1	(7,10)	6	12	18	18	24	6	0	0,67
1	(8,10)	4	18	22	20	24	2	0	0,78
2	(9,10)	3	16	19	21	24	5	0	0,67
4	(10,11)	9	24	33	24	33	0	0	1

Заповнення таблиці починається з розрахунку раннього терміну початку робіт. Для робіт, що мають цифру «нуль» у першій графі, а у графі 4 також заносяться нулі, їх значення у графі 5 виходить в результаті підсумовування у графі 3 і 4. У нашому випадку із таких робіт тільки одна - (1, 2), тому у графі 4 у відповідній їй рядку проставимо 0, а у графі 5 - $0+6=6$.

Для заповнення наступних рядків графі 4, тобто рядків, що починаються з номера 2, проглядаються заповнені рядки у графі 5, що містять роботи, які закінчуються на цей номер, і максимальне значення переноситься у графу 4 оброблюваних рядків. В даному випадку така робота лише одна (1, 2), про що можна судити по графі 1. Цифру 6 із графі 5 переносимо у графу 4 для всіх робіт, що починаються з номера 2, тобто у три наступні рядки з номерами (2, 3), (2, 4), (2, 5). Далі для кожної з цих робіт шляхом підсумовування їх значень графі 3 і 4 сформуємо значення графі 5:

$$t_{ps}(2,3) = 5 + 6 = 11 \text{ та } t_{ps}(2,4) = 3 + 4 = 7.$$

Цей процес повторюється до тих пір, поки не буде заповнена останній рядок табл. 2.

Графи 7 і 6 заповнюються «зворотним ходом», тобто знизу вгору. Для цього проглядаються рядки, що закінчуються на номер останньої події, і з графі 5

Розглянемо останній зазначений спосіб для розрахунку мережевої моделі, яка представлена на рис. 1 та 2; результати розрахунку наведені у таблиці. Перелік робіт та їх тривалість перенесемо в другу і третю графі таблиці. При цьому роботи слід послідовно записувати в графі 2: спершу починаються з номера 1, потім з номера 2 і т. д.

У першій графі поставимо параметр K_{np} , що характеризує кількість робіт, які безпосередньо передують події, з якої починається розглянута робота.

Для робіт, що починаються з номера «1», попередніх робіт немає. Для роботи, що починається на номер «к», проглядаються всі верхні рядки другої графі таблиці і відшукуються рядки, що закінчуються на цей номер. Кількість знайдених робіт записується в усі рядки, що починаються з номера «к». Наприклад, для роботи (5,8) у графі 1 поставимо цифру 2, оскільки у графі 2 на номер 5 закінчуються дві роботи: (2,5) і (4,5).

вибирається максимальна величина, яка записується у графі 7 по всіх рядках, що закінчується на номер останньої події, оскільки $t_n(N) = t_p(N)$. У нашому випадку $t(N) = 33$. Потім для цих рядків є вміст графі 6 як різниця між графами 7 і 3. Маємо $t_{ps}(10,11) = 33 - 9 = 24$.

Далі проглядаються рядки, що закінчуються на номер події, яка безпосередньо передуює завершального події (10). Для визначення графі 7 цих рядків (роботи (5,10), (7,10), (8,10), (9,10)) проглядаються всі рядки графі 6, що лежать нижче і починаються з номера 10. У графі 6 серед них вибирається мінімальна величина, яка переноситься у графу 7 по рядках, що обробляється. У цьому випадку вона одна – (10,11), тому заносямо в усі рядки зазначених робіт цифру «24». Процес повторюється до тих пір, поки не будуть заповнені всі рядки по графах 6 і 7. Вміст графі 8 дорівнює різниці граф 6 і 4 або граф 7 і 5.

Враховуючи, що нульовий резерв часу мають тільки події і роботи, які належать критичного шляху, отримуємо, що критичним є шлях:

$$L_{kp} = (1,2,4,5,10,11), \text{ а } t_{kp} = 33 \text{ дні.}$$

Для оптимізації мережевої моделі, що виражається в перерозподілі ресурсів з ненапружених робіт на критичні для прискорення їх виконання, необхідно як можна точніше оцінити ступінь труднощів своєчасного виконання всіх робіт, а також «ланцюжків» шляху. Більш точним інструментом вирішення цього завдання в порівнянні з повним резервом є коефіцієнт напруженості, який може бути обчислений одним із двох способів за формулою [9,10]:

$$KH(i, j) = t(L_{\max}) - t_{kp} / t_{kp} - t'_{kp} = 1 - R_n - R_n(i, j) / t_{kp} - t'_{kp},$$

де $t(L_{\max})$ – тривалість максимального шляху, що проходить через роботу (i, j) ; t'_{kp} – тривалість відрізка розглянутого шляху, що збігається з критичним шляхом.

Коефіцієнт напруженості змінюється від нуля до одиниці, причому, чим він ближче до одиниці, тим складніше виконати дану роботу у встановлений термін. Найбільш напруженими є роботи критичного шляху, для яких він дорівнює 1. На основі цього коефіцієнта всі роботи мережевої моделі можуть бути розділені на три групи: напружені ($KH(i, j) > 0,8$); підкритичні ($0,6 < KH(i, j) < 0,8$) та резервні ($KH(i, j) < 0,6$). У результаті перерозподілу ресурсів намагаються максимально зменшити загальну тривалість робіт, що можливо при перекладі всіх робіт в першу групу. При розрахунку цих показників доцільно користуватися графіком мережевої моделі.

Для робіт критичного шляху (1,2), (2,4), (4,5), (5,10), (10,11) $KH = 1$.

Для інших робіт:

$$KH(2,3) = 1 - 6 : (33 - (6 + 9)) = 1 - 0,33 = 0,67,$$

$$KH(4,9) = 1 - 5 : (33 - (6 + 3 + 9)) = 1 - 0,33 = 0,67,$$

$$KH(5,8) = 1 - 2 : (33 - (6 + 3 + 6 + 9)) = 1 - 0,22 = 0,78$$

і т.д.

Відповідно до результатів обчислень KH для решти робіт, які представлені в останній графі таблиці, можна стверджувати, що оптимізація мережевої моделі можлива в основному за рахунок двох резервних робіт: (6,11) і (2,5). Оптимізована модель представлена на рис. 3.

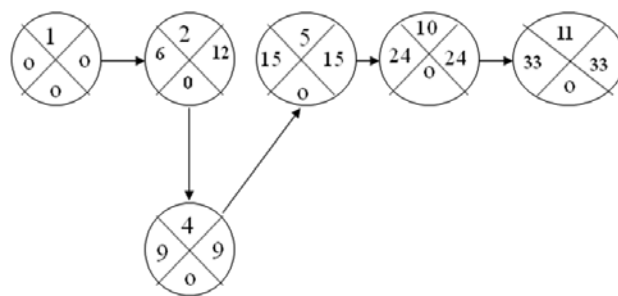


Рис. 3 – Оптимізована мережева модель броварного виробництва

Висновки. Підводячи підсумок дослідження, значимо, що його мета та основні завдання можна вважати виконаними. У ході роботи здійснено планування комплексу маркетингу підприємства, побудовано «дерево цілей» і мережева модель маркетингового комплексу робіт.

У результаті проведення оптимізації мережевої моделі відповідно до результатів обчислень можна стверджувати, що вона можлива в основному за рахунок резервних робіт.

Список літератури: 1. Doyle, P. Marketing Management and Strategy [Text] / P. Doyle // Prentice Hall, 1994 – 464 p. 2. Мартин, П. Управление проектами [Текст] / П. Мартин. – К.: Тейт. – СПб.: Питер, 2006. – 224 с. 3. Локк, Д. Основы управления проектами [Текст] / Д. Локк. – М.: «НИРО», 2004 – 253 с. 4. Кобыляцкий, Л. С. Управление проектами [Текст] / Л. С. Кобыляцкий. – К.: МАУП, 2002. – 200 с. 5. Бурков, В. Н. Как управлять проектами [Текст] / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – М.: «СИНТЕГ-ГЕО», 1997. – 188 с. 6. Кочетков, А. И. Управление проектами. Зарубежный опыт [Текст] / А. И. Кочетков, С. Н. Никешин. – СПб.: «Два Три И», 1993. – 443 с. 7. Мир управления проектами [Текст] / Под ред. Х. Решке, Х. Шелле. – М.: «АЛАНС», 1993. – 304 с. 8. Ильин, Н. И. Управление проектами [Текст] / Н. И. Ильин, И. Г. Лукманова. – СПб.: «Два Три И», 1996. – 610 с. 9. Мазур, И. И. Управление проектами. Справочное пособие [Текст] / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро. – М.: Высшая школа, 2001 – 875 с. 10. Kerzner, H. A Systems Approach to Planning.: Scheduling and Controlling [Text] / H. Kerzner // An International Thomson Publishing Company, 1994. – 1152 p.

Bibliography (transliterated): 1. Doyle, P. (1994). Marketing management and strategy. Prentice Hall, 464. 2. Martin, P. (2006). Project management. Saint Petersburg. Piter, 224. 3. Lokk, D. (2004). Fundamentals of Project Management. Moscow. NIRO, 253. 4. Kobylatskiy, L. S. (2002). Project management. Kiev. MAUP, 200. 5. Burkov, V. N. (1997). How to manage projects. Moscow. SINTEG-GEO, 188. 6. Kochetkov, A. I. (1993). Project management. Foreign experience. Saint Petersburg, Dva Tri I, 443. 7. Reshke, H., Shelle, H. (1993). World of Project Management. Moscow. ALANS, 304. 8. Ilin, N. I., Lukmanova, I. G. (1996). Project management. Saint Petersburg "Dva Tri I", 610. 9. Mazur, I. I., Shapiro, V. D. (2001). Project management Reference Guide. Moscow. Vysshaya shkola, 875. 10. Kerzner, H. (1994). A Systems Approach to Planning.: Scheduling and Controlling. An International Thomson Publishing Company, 1152.

Надійшла (received) 27.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Добротвор Ігор Григорович – доктор технічних наук, Тернопільський національний економічний університет, професор кафедри економічної кібернети та інформатики; вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, Україна, 46009; тел.: (035) 252-46-43; e-mail: idoobr@yandex.ua.

Добротвор Ігорь Григорьевич – доктор технических наук, Тернопольский национальный экономический университет, профессор кафедры экономической кибернетики и информатики; ул. Львовская, 11, г. Тернополь, Украина, 46009; тел.: (035) 252-46-43; e-mail: idoobr@yandex.ua.

Dobrotvor Ihor – doctor of technical sciences, professor, Ternopil National Economic University; Lvivska str., 11, Ternopil, 46009; tel.: (035) 252-46-43; e-mail: idoobr@yandex.ua.

Струбицький Павло Романович – кандидат технічних наук, Тернопільський національний економічний університет, доцент кафедри економічної кібернетики та інформатики; майдан Перемоги, 3, м. Тернопіль, 46000; тел.: (035) 252-46-43; e-mail: p.r.strubytsky@gmail.com.

Струбицкий Павел Романович – кандидат технических наук, Тернопольский национальный экономический университет, доцент кафедры экономической кибернетики и информатики; ул. Львовская, 11, г. Тернополь, Украина, 46009; тел.: (035) 252-46-43; e-mail: p.r.strubytsky@gmail.com.

Srtubytsky Pavlo – candidate of technical sciences, associate professor, Ternopil National Economic University; Lvivska str., 11, Ternopil, 46009; tel.: (035) 252-46-43; e-mail: p.r.strubytsky@gmail.com.

Струбицька Ірина Павливна – кандидат технічних наук, Тернопільський національний економічний університет, доцент кафедри комп'ютерних наук; вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, Україна, 46009; тел.: (035) 252-46-43; e-mail: iryna.str@gmail.com.

Струбицкая Ирина Павловна – кандидат технических наук, Тернопольский национальный экономический университет, доцент кафедры компьютерных наук; ул. Львовская, 11, г. Тернополь, Украина, 46009; тел.: (035) 252-46-43; e-mail: iryna.str@gmail.com.

Srtubytska Iryna – candidate of technical sciences, associate professor, Ternopil National Economic University; Lvivska str., 11, Ternopil, 46009; tel.: (035) 252-46-43; e-mail: iryna.str@gmail.com.

УДК 005.311.2:004.94

В. В. ТРЕЙТАК

ПРОЦЕСНА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЮ ПІДГОТОВКОЮ ВИРОБНИЦТВА В СЕРЕДОВИЩІ ІНТЕГРОВАНІХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

Розглядається процесна модель технологічної підготовки виробництва з погляду реінжинірингу існуючих виробничих процесів на підприємстві, введення ключових показників діяльності в модель, яка розробляється з метою подальшого контролю ефективності системи технологічної підготовки виробництва в рамках моделювання за різними сценаріями. Представлено розроблені організаційні моделі технологічної підготовки виробництва. Результати досліджень можуть бути використані при розробці інформаційних систем та технологій автоматизації основних етапів життєвого циклу наукоємного виробу.

Ключові слова: технологічна підготовка виробництва, організаційна модель, імітаційне моделювання, управління виробничими процесами.

Вступ. На машинобудівних підприємствах багатонаменклатурного виробництва гостро стоїть питання про підвищення ефективності роботи виробничих відділів та служб, які задіяні в процесах технологічної підготовки виробництва (ТПВ). Основні шляхи підвищення цієї ефективності в теоретичних та прикладних наукових дослідженнях передбачають розробку нових методів та технологій інформаційної підтримки і інтеграції процесів життєвого циклу виробу.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Не дивлячись на значні результати, які досягнуті розробниками та користувачами сучасних інтегрованих автоматизованих систем виробничого призначення, задача ефективного управління технологічною підготовкою виробництва не отримала завершення в науково-прикладному і практичному аспектах вирішення. Дана науково-практична задача обумовлена її складністю, причиною якої є відсутність формалізації і алгоритмізації процесів управління технологічною підготовкою виробництва. Аналіз сучасних робіт в області управління виробничими процесами на етапах життєвого циклу промислового виробу показує, що в даний час зусилля вчених зосереджені в основному на розробці методології інтеграції автоматизованих систем підприємства при вирішенні локальних задач автоматизації управління окремими процесами життєвого циклу виробів. Значних досягнень у цьому напрямку досягнуто закордонними розробниками, але на жаль, ці розробки не враховують специфіку процесів життєвого циклу виробу вітчизняних промислових підприємств, не мають ефективних ме-

ханізмів формалізації та алгоритмізації управління процесами технологічної підготовки виробництва. Так, у роботі [1] використано семантичне моделювання нормативно-довідкових даних для побудови MDM (Master Data Management) – систем управління даними. У працях [2-4] та їх учнів досліджено формалізацію певних взаємозв'язків даних інформаційних процесів ТПВ та оперативного управління виробництвом, побудовані теоретичні основи інтеграції цих процесів. Математичні моделі процесів прийняття оптимальних проектних та виробничих рішень на основі застосування 3D-моделей та цифрових технологій використані в працях [3, 5] та ін. На базі реалізації імітаційного моделювання доведена можливість отримання оптимальних виробничих рішень інструментальними засобами ERP-систем.

Аналіз стану досліджень з комплексної автоматизації та управління процесами як ТПВ, так і виробництва виробів сучасними високотехнологічними підприємствами дискретного типу (машинобудівного, авіаційного та ін.) в промислово розвинених країнах світу вказує на те, що в їх основу покладені відмінні від вітчизняних (та країн СНД) принципи, методи та технології. Основним показником процесів технологічної підготовки та виробництва є час, його планування та управління. Автоматизація управління процесами ТПВ в промислово розвинених країнах світу реалізується СAPP-системами (Computer Aided Process Planning) через інтеграцію в CAD/CAM-, MES- та ERP-системах. Тому в сучасних умовах ефективно

© В. В. Трейтак. 2015

використовувати CAD/CAM/CAE-, PDM-, MES- та ERP-системи для прискорення та управління ТПВ в Україні майже неможливо.

Ціль та задачі дослідження. Метою роботи є дослідження та розробка засобів інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень на етапах технологічної підготовки виробництва.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Формалізація процесів прийняття управлінських рішень на етапах технологічної підготовки виробництва.
2. Розробити типову організаційну модель управління технологічною підготовкою виробництва.

Матеріали та методи розробки процесної моделі управління технологічною підготовкою виробництва.

В будь-якій динамічній системі, а саме такою є підсистема ТПВ в рамках економічної системи підприємства, протікає певна кількість процесів різного рівня. Таким чином, говорячи про динаміку в економічних та виробничих підсистемах розширених виробництвах, ми будемо говорити про процеси, які протікають в їх рамках. ТПВ як підсистема виробничого підприємства, також представляє собою систему пов'язаних процесів, які забезпечують розробку проектних, виробничих та планових даних [1-3].

Сучасні методи моделювання виробничих систем орієнтовані саме на процеси, в зв'язку з тим, що всі методи реінжинірингу побудовані саме на процесному підході. Процесний метод також розглядає декілька підходів в рамках визначених методологій моделювання: функціональний підхід та об'єктно-орієнтований [2].

Функціональний підхід в моделюванні процесів зводиться до побудови схеми процесів у вигляді послідовності операцій, з якими пов'язані матеріальні та інформаційні об'єкти, ресурси, які використовуються, організаційні одиниці і т.ін.

Об'єктно-орієнтований підхід передбачає виділення спочатку об'єктів, а потім лише дій, в яких вони приймають участь. Такій підхід дозволяє більш об'єктивно визначити операції над об'єктами та вирішити задачу про доцільність використання об'єктів з погляду їх ефективності.

Розвиток зазначених методологій моделювання призвів до появи CASE-засобів (Computer-Aided Software/System Engineering), які призначені для автоматизації різноманітних операцій з діаграмами, які описують функціонування складних систем. Найбільшу перспективу мають комплексні (інтегровані) методології моделювання систем і процесів, до яких належить ARIS-методологія, обрана в якості базової для побудови моделі ТПВ [3].

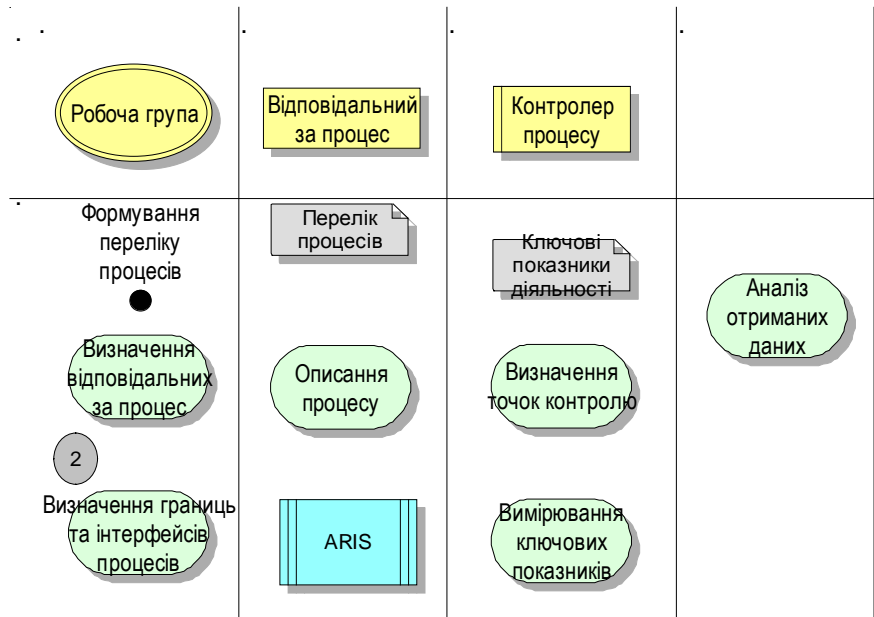
Архітектура ARIS (Architecture Integral Information System) – це сукупність технологій, яка

забезпечує розробку і удосконалення систем управління підприємством, а також проектування та створення інтегрованих інформаційних систем їх підтримки на базі процесного підходу [3, 5].

Результати дослідження розробки процесної моделі управління технологічною підготовкою виробництва.

Методологія управління процесами, або порядок розробки процесної моделі ТПВ може бути представлена алгоритмом, який складається з шести кроків (рис. 1).

На першому етапі визначаються відповідальні за процес особи, тобто співробітники, які приймають



рішення та мають право розпоряджуватися ресурсами [6]. В дослідженнях здійснюється побудова та аналіз процесної моделі ТПВ, де відповідальними є керівники відповідних груп, відділів: конструкторських, технічних та ін.

На другому кроці визначаються границі процесів, тобто зони моделювання, які описуються в Положенні про моделювання.

Описання процесу на третьому кроці відбувається за загальноприйнятими принципами моделювання [7]:

1. **Принцип коректності.** Коректність моделі залежить від правильності семантики і синтаксису, тобто від повноти погодженості синтаксису конкретної мета моделі.

2. **Принцип релевантності.** Слід моделювати лише ті фрагменти реальної системи, які відповідають призначенню моделі.

3. **Принцип відповідності витрат** на моделювання отриманим даним, тобто вартість отриманої інформації повинна бути на багато більшою ніж витрати на моделювання (отримання інформації).

4. **Принцип прозорості.** Прозорість гарантує легкість використання моделей кінцевими користувачами, тобто моделі повинні бути максимально простими і нести лише необхідну інформацію.

5. **Принцип порівняння.** Моделі, які створені на базі погодженої концептуальної інфраструк-

тури та єдиної мови моделювання, повинні давати можливість їх порівняння між собою, якщо назви об'єктів відповідають встановленим погодженням.

6. Принцип систематизованої структури.

Цей принцип в якості обов'язкової умови передбачає можливість інтеграції моделей різних типів.

Описання процесів здійснюється за допомогою відповідних моделей в рамках методології моделювання [8].

У якості контрольних точок процесу на третьому кроці визначені ключові показники діяльності, які будуть використовуватися під час моделювання з метою визначення стану системи управління ТПВ промислового підприємства. Таким чином для оцінки стану системи ТПВ буде здійснене імітаційне моделювання в часі процесу ТПВ в рамках моделей наступних предметних областей:

1. Організаційна структура підрозділу, відповідального за ТПВ розширеного підприємства. Розглядається узагальнена організаційна структура з метою моделювання принципів ТПВ та отримання відносних показників для подальшого аналізу (крок 6 алгоритму, див. рис. 1).

2. Робочий графік роботи підрозділу з метою динамічного моделювання ТПВ в рамках підрозділів з урахуванням всіх технологічних перерв та отримання достовірних даних.

3. Безпосередньо процеси ТПВ 1-4 рівнів з певними припущеннями для отримання даних щодо вартості та часу розробки за запропонованими моделями погодження документів.

4. Процеси документообігу за запропонованими моделями з метою отримання статистичних

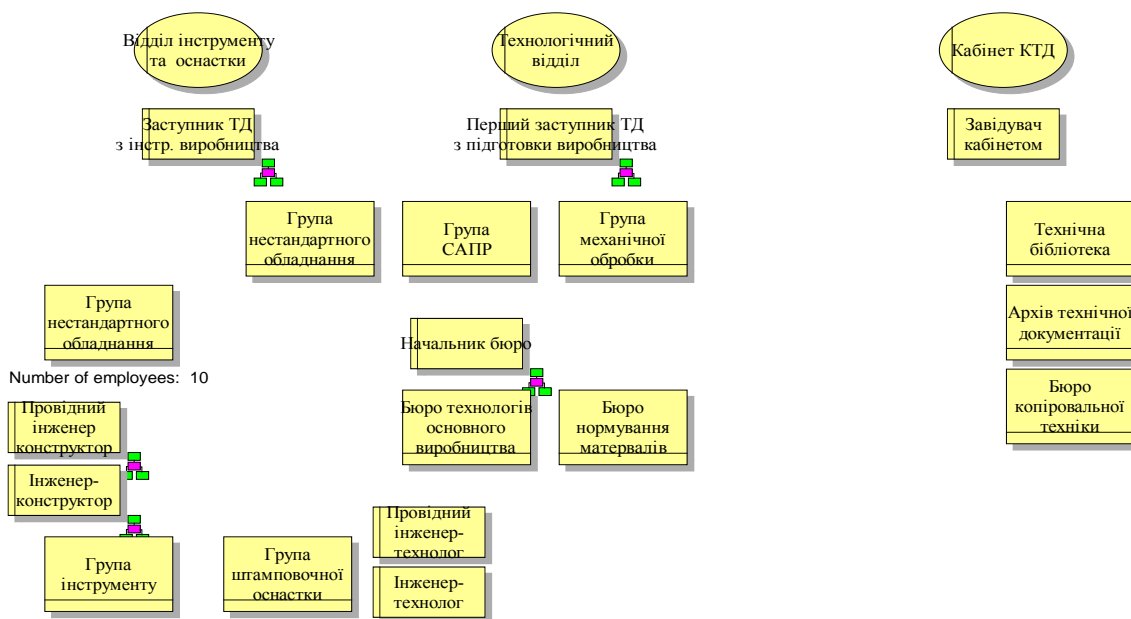
даних, по-перше для підтвердження теоретичних результатів досліджень щодо їх ефективності, по-друге, для використання цих даних в якості параметрів процесних моделей ТПВ.

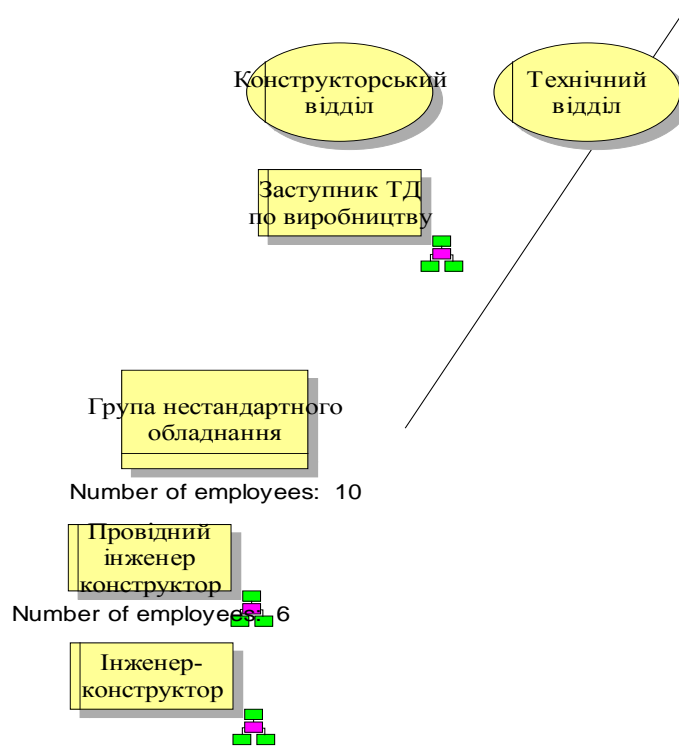
Моделювання використання обладнання з метою отримання даних щодо амортизаційних відрахувань та максимально повних даних щодо собівартості розробки комплексу виробничих даних.

Організаційно-штатна структура - це сукупність організаційних одиниць (структурних підрозділів та посадових осіб), підсистем, які об'єднані для реалізації цілей організації ієрархічними зв'язками, що забезпечує розподілення функцій управління між особами, відповідальними за прийняття рішень та підлеглим персоналом в рамках існуючих процесів ТПВ [9].

На рис. 2 наведено типову організаційну структуру підрозділу, відповідального за управління ТПВ машинобудівних виробництв.

На сьогодні існує велика кількість різноманітних варіантів організаційних структур ТПВ, всі вони, як правило, визначаються матеріальними та фінансовими можливостями підприємств, їх можливостями відповідати сучасним методам проектування та управління ТПВ в єдиному інформаційному просторі. Саме тому розглянуто типову структуру з мінімально необхідною кількістю підрозділів для вирішення задач, які реалізуються в рамках ТПВ. Такий підхід дасть змогу використовувати запропоновані методи моделювання для широкого кола існуючих структур. На рис. 3 представлено основні елементи об'єктів організаційної моделі відповідно до методології ARIS.





нологічної підготовки підприємства на базі процесного підходу.

3. Автором розроблено комплексну процесну модель технологічної підготовки виробництва, яка складається з семи моделей, кожна з яких дозволяє описувати та моделювати введені автором ключові показники діяльності з метою оцінки якості системи управління технічною підготовкою виробництва.

Список літератури: 1. Андриченко, А. Принципы интеграции PDM-систем и САПР технологических процессов [Текст] / А. Андриченко, А. Коптев // CAD/CAM/CAE Observer. – 2011. – №8 (68). – С. 8–13. 2. Кульга, К. С. Модели и методы создания интегрированной информационной системы для автоматизации технической подготовки и управления машиностроительным производством [Текст] / Автор. дис. ... д-р техн. наук : 05.13.06 / К.С. Кульга. – Уфа: Изд. УГАТУ, 2010. – 34 с. 3. Мартынов, О. Ю. Разработка методов и средств автоматизированного управления технической подготовкой производства наукоемких изделий с целью повышения их конкурентоспособности [Текст] / Автор. дис. ... д-р техн. наук : 05.13.06 / О. Ю. Мартынов. – Москва, 2012. – 32 с. 4. Mark, J. Barnechea. Enterprise Productive Information Management: The Next Generation of Enterprise Software [Text] / J. Barnechea Mark, Jenkins Tom // Open Text, Waterloo (Canada), 2013. – 110 p. 5. Краснов, Ю. А. Автоматизация поддержки управленческих решений при организации наукоемкого производства на основе гибкой обратной связи [Текст] / Автор. дис. ... кан. тех. наук : 05.13.06 / Ю. А. Краснов. – Москва, 2013. – 20 с. 6. Diedrich, C. Basic concept of the Digital factory [Text] / C. Diedrich, M. Muhlhaue // AT: Automatisierungstechnik, 2011. – V. 59. – P. 18–25. 7. Павленко П. М. Інформаційна технологія управління ефективністю промислового виробництва [Текст] / П. М. Павленко, О. В. Заріцький, А. О. Хлевний // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2015. – №1/2 (73). – С. 24–30. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36070 8. Павленко, Р. The method of analysis and performance management of dispersed produc-

tion planning [Text] / P. Pavlenko, A. Khlevnoj // Proceedings of the National Aviation University. – 2014. – №2. – P. 105–112. 9. Трейтак В. В. Розробка технології інформаційної підтримки управління виробничими процесами машинобудівних підприємств [Текст] / В. В. Трейтак, П. М. Павленко, С. М. Гайсан // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2012. – №47. – С. 122–126. 10. Трейтак, В. В. Розробка та впровадження системи інформаційної підтримки процесів управління виробничими даними [Текст] / В. В. Трейтак, П. М. Павленко, С. О. Дорошенко // Вісник НАУ. – 2012. – № 4. – С. 33–35.

Bibliography (transliterated): 1. Andrichenko, A. Koptev, A. (2011). Principi integracii PDM-sistem i SAPR tehnologicheskikh procesov. CAD/CAM/CAE Observer, №8 (68), 8–13. 2. Kylga, K. C. (2010). Modeli i metodu sozdaniya integrirovannoi informatsionnoi sistemu dlya avtomatizatsii tehnicheckoi podgotovki i upravleniya mashinostroitelnum. Ufa : Izd. UGATU, 34. 3. Martunov, O. U. (2012). Razrabotka metodov i sredstv avtomatizirovannogo upravleniya tehnicheckoi podgotovki proizvodstvom naukoemkikh izdeliy s tseliu povusheniya ih konkurentosposobnosti. Moskva, 32. 4. Mark, J. B, Jenkins, Tom (2013). Enterprise Productive Information Management: The Next Generation of Enterprise Software. Open Text, Waterloo (Canada), 110. 5. Krasnov, U. A. (2013). Avtomatizatsiya podderjki upravlencheskikh resheniy pri organizatsii naukoemkogo proizvodstva na osnove gibkoi obratnoi svyazi. Moskva, 20. 6. Diedrich, C., Muhlhaue, M. (2011). Basic concept of the Digital factory. Automatisierungstechnik, 59, 18–25. 7. Pavlenko, P. M., Zarickiy, O. V., Hlevnui, A. O. (2015). Informatsiyuna tehnologiya upravlinnya efektyvnistu promislavogo virobnuctva. Vostochno-Evropeskiy jurnal peredovuh tehnologiyi, №1/2 (73), 24–30. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36070. 8. Pavlenko, P., Khlevnoj, A. (2014). The method of analysis and performance management of dispersed production planning. Proceedings of the National Aviation University, №2, 105–112. 9. Treityak, V. V. Pavlenko, P. M., Gaisan, C. M. (2012). Rozrobka tehnologiyi informatiynoi pidtrimki upravlinnya virobnychimi procesami mashinobudivnykh pidpruemstv. Vimiruvalna ta obchislvalna tehnika v tehnologichnih procesah, №47, 122–126. 10. Treityak, V. V., Pavlenko, P. M., Doroshenko, C. O. (2012). Rozrobka ta vprovadjennya sistemu informatsiynoi pidtrimku procesiv upravlinnya virobnychimi dannymi. Visnik NAU, № 4, 33–35.

Надійшла (received) 04.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Трейтак Вячеслав Віталійович – кандидат технічних наук, Навчально-науковий інститут інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету, докторант кафедри "Засоби захисту інформації"; просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03680; тел.: 066-138-10-85; e-mail: 11.203iids@ukr.net.

Трейтак Вячеслав Витальевич – кандидат технических наук, Учебно-научный институт информационно-диагностических систем Национального авиационного университета, докторант кафедры "Средства защиты информации"; просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, Украина, 03680; тел.: 066-138-10-85;

Treityak Vyacheslav – candidate of technical sciences, Educational-scientific institute of the informatively-diagnostic systems, National Aviation University, doctoral candidate of department "Means of defence information"; address: boulevard Cosmonaut Komarov, 1, Kyiv, Ukraine; tel.: 066-138-10-85; e-mail: 11.203iids@ukr.net.

УДК 656.221

О. А. МАЛАХОВА, К. Е. ФАТ

УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОПУСКУ ВАГОНОПОТОКІВ ЧЕРЕЗ МІЖНАРОДНІ ЗАЛІЗНИЧНІ СТИКОВІ ПУНКТИ

В роботі проаналізована структура вагонопотоку, що передається між залізницями України та сусідніми державами. Розглядаються основні труднощі у роботі міжнародних залізничних стикових пунктів. Запропоновані шляхи вирішення основних проблемних задач для прискорення просування вагонопотоків через міжнародні стикові залізничні пункти при взаємодії із сортувальними станціями полігону. Оцінку варіантів розподілу вагонопотоку між різними перехідними станціями запропоновано оцінювати за допомогою коефіцієнта розподілу роботи. Передбачається доповнення АРМ оперативних працівників станції вирішенням задач раціоналізації роботи стикових пунктів.

Ключові слова: транспорт, система, залізниця, вагонопотік, станція, вантаж, дільниця, стиковий пункт, сполучення, розподіл

Вступ. Після здобуття Україною незалежності відбувся поділ залізниць в кордонах країн СНД і Балтії, що викликало появу нових прикордонних станцій, стабільна робота яких є одним з факторів забезпечен-

ня сталого пропуску зовнішньоторговельного вантажопотоку між країнами.

© О. А. Малахова, К. Е. Фат . 2015

При цьому, якщо існуючі прикордонні станції в основному були перевантажувальними, то решта є міждержавними прикордонними передавальними станціями, оскільки у зв'язку з однаковою шириною колії перевантаження вантажів на цих станціях не потрібно. На першому етапі нові прикордонні переходи обладналися за тимчасовою схемою пропуску або їх відкривали на більш віддалених від кордону станціях з досить розвиненою інфраструктурою.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Вирішенням питань з організації пропуску вантажопотоків через міжнародні транспортні стикові пункти, удосконаленням інфраструктури для пропуску транзитного вагонопотоку займалися такі вчені: Б. Е. Пейсахзон, Н. Д. Іловайський, Б. І. Шафіркін, М. І. Данько, Т. В. Бутько, Є. С. Альошинський, Г. М. Сіконенко, С. В. Архангельський, В. М. Кудрявцев та інші.

Автори [1] розглянули питання організації пропуску вантажопотоків через міжнародні транспортні стикові пункти. Зроблений аналіз статистичних даних дозволив виявити причини невиконання планових перевезень по стикових пунктах. На думку авторів уникнути певних труднощів у роботі стикових пунктів та досягти скорочення просто вагонів можливо за рахунок розширення комплексу задач АРМ ТВК – кордон.

Кисельов В. В. у статті [2] також проаналізував стан міжнародних перевезень вантажів. Визначив основні труднощі при перевезеннях імпорно – експортного вантажу та зробив висновок, що збільшення обсягів транзитних перевезень необхідним є проведенні гнучкої тарифно – цінової та податкової політики.

Аналогічні проблеми з організацією транспортних потоків у міжнародному сполученні, але при взаємодії залізничного та морського транспорту відображені у [3-4]. Так, у статті [3] наведено, що морські порти України мають вигідне економіко – географічне положення по відношенню до стратегічних напрямків вантажопотоків для заохочення додаткових транзитних потоків через всю територію України. Але для збільшення обсягів транзитних перевезень необхідним є комплексний підхід для управління транспортним процесом, а розвиток інфраструктури портів повинен враховувати тенденції міжнародної та національної номенклатури вантажів. Т. В. Головка у статті [4] відображає, що Україна є державою, важливу роль в якій відіграють транзитні перевезення, а залізниця України є поєднувальною ланкою між транспортними системами країн Європи, Азії, Близького Сходу та Середземномор'я. Покращення експлуатаційної роботи запропоновано проводити при виборі варіантів роботи поромних комплексів, що залежить від інтенсивності вантажопотоку.

У статті [5] досліджуються питання роботи залізниць в умовах інтероперабельності. Показано, що для досягнення найбільшого економічного ефекту потрібно створення дворівневої інформаційно – керуючої системи при взаємодії різних рівнів управління поїздопотоків між міжнародному сполученні.

Для пропуску певної кількості поїздів станція повинна мати відповідні технічні та технологічні параметри під якими розуміється число колій для прийомздавальних операцій, кількість і чисельність бригад пунктів технічного обслуговування вагонів (ПТО)

і комерційного огляду вагонів (ПКО), а також бригад митного і прикордонного оглядів.

Ціль та задачі дослідження. Значення вказаних параметрів повинні забезпечувати стійку роботу прикордонній передавальній станції без затримок поїздів на підходах і на самій станції. Таким чином, метою розробки є удосконалення роботи передавальних пунктів за умови покращення експлуатаційних показників роботи станцій та прискорення пропуску поїздів через передавальні станції. Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення таких основних задач: аналіз існуючої технології роботи з дослідженням вихідних поїздопотоків та структури вагонопотоку; формалізація задачі оперативного управління вагонопотоками при стабілізації роботи передавальних пунктів.

Вищенаведений матеріал, поставлена мета та задачі обумовлюють актуальність даної розробки.

Матеріали та методи дослідження роботи міжнародних залізничних стикових пунктів. Найбільш характерним періодом з організації роботи залізниць у останні роки був період з 2010 по 2012. Так, у травні 2012 року залізницями України було перевезено 40456,1 тис. тонн вантажів. Це на 499,5 тис. тонн, або 1,3 % більше в порівнянні з аналогічним періодом минулого року [7].

За даними прес-служби Укрзалізниці, при цьому збільшилися обсяги перевезень вантажів в експортному та імпортному сполученнях відповідно на 903,1 тис. тонн (на 8 %) і на 626,4 тис. тонн (на 25,8 %) і зменшилися в транзитному і внутрішньому сполученнях відповідно на 724,3 тис. тонн (на 17,1 %) і на 306 тис. тонн (на 1,4 %).

Зокрема в структурі транзитних перевезень вантажів перше місце займають (рис. 1) нафта і нафтопродукти - 29,6 %, на другому місці перевезення залізної та марганцевої руди - 23,4 %, третє місце займає кам'яне вугілля - 18,6 %; четверте місце - чорні метали (7,1 %); на п'ятому місці - хімічнодобрива (6,6 %).

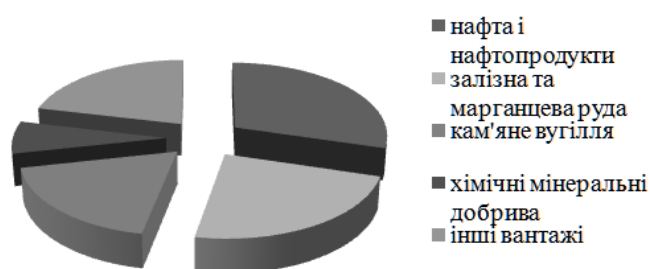


Рис. 1 – Структура транзитних перевезень вантажів

Основне зменшення перевезень спостерігалось у 2012 році по наступних вантажах: залізна руда; хімічнодобрива; кам'яне вугілля; нафтопродукти.

Серед імпортих перевезень у травні перше місце займає кам'яне вугілля - 42,3 %. Переважно це коксівне вугілля для металургійного виробництва та коксування. Імпорт вугілля збільшився на 51,2 % до 1,29 млн. тонн.

На другому місці нафта і нафтопродукти (частка - 14,4 %), обсяги яких збільшилися на 32,2 %. Третє місце посіли залізна і марганцева руда (12,4 %). Імпорт руди зменшився на 6,3 % до 389200000 тонн.

За словами експертів [7] обсяги транзитних перевезень в Україні у 2015 році скоротилися майже на 50 %.

Географічне положення України, розвинена транспортна мережа повинні сприяти тому, щоб обсяги транзитних вантажопотоків через її територію, особливо в міжнародному сполученні, збільшувалися. Для України розвиток транзитних перевезень означає суттєве збільшення надходжень до бюджету, є одним з реальних джерел фінансування транспорту. На сьогодні Україна у логістичному рейтингу Світового банку посідає лише 102 місце [7].

Особливої уваги набуває реалізація проектів, які мають забезпечити Україні участь у формуванні міжнародних транспортно-комунікаційних мереж, зокрема, в доставці каспійських енергоресурсів на внутрішній та міжнародні ринки. Складні і масштабні завдання пов'язані з модернізацією управління транспортними системами, які дадуть можливість поглибити сумісність з залізницями країн ЄС. У вересні 2015 було протокол [8] про співпрацю між керівниками залізниць України, Грузії, Казахстану та Азербайджану про розвиток транзитних вантажоперевезень за маршрутом Азія – Європа. За останні роки це стало дуже перспективним напрямком розвитку.

Технологічні потужності національної транспортної інфраструктури дозволяють щорічно перевозити залізницями, внутрішнім водним та автомобільним транспортом і переробляти в портах понад 60-70 млн. т і доставляти трубопроводами до 200 млн. т товарів. Однак фактичні обсяги транзиту становлять лише 200 млн. т, тобто наявний транзитний потенціал України використовується на 70 %, а транспорт загального користування без трубопроводів) - лише на 50 %.

Аналіз затримок у роботі міждержавних стикових пунктів при пропуску імпортно – експортного вагонопотоку показав, що основними напрямками для подальшого покращення роботи є: перерозподіл вагонопотоків для ліквідації затримок на станціях міждержавних переходів; розвиток інтегрованих автоматизованих систем для прискорення передачі інформації між державами та доповнення новими задачами.

Для оцінки варіантів розподілу імпортно – експортного вагонопотоку використовується показник $K_{p,p}$ – коефіцієнту розподілу роботи, який можна розрахувати за формулою

$$K_{p,p} = \frac{\Delta N_{пер}^{\min}}{\Delta N_{пер}^{\max}}, \quad (1)$$

де $\Delta N_{пер}^{\min}$ - отриманий для всіх станцій додатковий мінімум в обсягах переробки, ваг; $\Delta N_{пер}^{\max}$ - максимально можлива додаткова переробка.

Визначення коефіцієнту розподілу роботи є доцільним при оперативному регулюванні пропуску вагонопотоків через міжнародні стикові пункти. При цьому необхідно враховувати категорії поїздів та окремих вагонів.

Частка транзитних вантажів у загальному обсязі для транспортного комплексу України ще недавно складала близько 50 %, тобто,

кожна друга тонна - це транзитний вантаж, а сьогодні обсяги цих перевезень та обробки впали в декілька разів. Створити сприятливі і конкурентні умови для залучення обсягів перевезень експортно-імпорتنих та транзитних вантажів є в цих умовах першочерговим і пріоритетним завданням. Це необхідно зробити для збереження сектору перевезень і тих об'єктів інфраструктури, які співпрацюють з ним, у т.ч. і державних [6].

Успішне вирішення завдань поліпшення організації транзитних перевезень без відповідного нормативно-правового забезпечення неможливо. Тут слід зазначити відставання головних управлінь Мінінфраструктури: в першу чергу, правового забезпечення та зовнішніх зв'язків. Неупорядкованими і тривалими залишаються процедура контрольно-перевірочних операцій та механізм оформлення документів на транзитні вантажі. Особливо це відноситься до автомобільних і контейнерних перевезень. Нерідко функції контролю та оформлення документів на транзитні вантажі передані недержавним комерційним структурам, які самостійно встановлюють більш високі тарифи. На прикордонних пунктах Чоп, Ягодин, Шегині, Краковець створені так звані вантажні термінали, що належать різним комерційним структурам.

Для підвищення якості перевезень та збільшення обсягів транзиту у міжнародному сполученні необхідно: організація транспортного та суміжного обслуговування вантажовідправників та вантажоодержувачів в рамках єдиної структури, здатної враховувати як інтереси клієнтів, так і залізниць; раціоналізація взаємодії різних видів транспорту з метою скорочення простою транспортних засобів на станціях перевалки вантажів; використання єдиних техніко – технологічних протоколів, а також створення єдиного інформаційного простору при перевезенні різними видами транспорту та в межах різних країн; раціоналізація маршрутів перевезень вантажів; досягнення високого рівня інформаційного забезпечення процесів управління та організації перевезень з використанням сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій.

Слідування вагону власності іншої держави (іно-вагону) через міжнародний залізничний стиковий пункт (МЗСП) як у напрямку станції призначення, так і при поверненні країні – власниці, як правило, повинен здійснюватися через одні й ті самі стики, але допускається повернення через інші стикові пункти за умови, що вони повинні бути станціями стикування саме тих держав [9, 10].

Нормативний час знаходження навантажених вагонів в межах залізничної адміністрації іншої держави встановлюється окремо для вагонів, що прямують під вивантаження, і для транзитних вагонів, а також стану вагону. Тому, цільову функцію визначення раціонального плану направлення вагонопотоків через міжнародні стикові пункти можна сформулювати наступним чином

$$E_{не} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left[e_{ij} t_{hp} (q' + q'') (1 - K_n) + \alpha_{нор} t_{hp}^{нор} (q' + q'') + e_{ij} t_{hp} (q' + q'') K_n K_{прис} \right] \rightarrow \min E_{не} \quad (2)$$

де e_{ij} - вартість однієї вагону – години пропуску вагонопотоку між станціями i та j , грн.; t_{hp} - час пряму-

вання вагонопотоку між станціями i та j , год; n'_{ij} , n'' - відповідно кількість вагонів, що прямує у транзитному сполученні та на експорт, ваг; K_n - коефіцієнт пріоритетності, що враховує наявність вагонів, що потребують прискореної доставки; α_{nop} - коефіцієнт порожнього пробігу; t_{np}^{nop} - час прямування порожнього вагонопотоку між станціями i та j , год; $K_{прис}$ - коефіцієнт, що враховує частку вагонів з прискореним просуванням між залізничні стикові пункти.

При наступних обмеженнях:

$$\begin{cases} n'_{ij} \leq n''_{ij} & \text{за пропускну здатністю залізничних стикових пунктів;} \\ \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N t_{np} \leq T_{досм}^n & \text{за терміном доставки;} \end{cases}$$

Перенос навіть частини роботи з однієї станції приводить до неминучої зміни розмірів переробки вагонів по декількох суміжних станціях. Тому, розглядати роботу станції з пропуску транзитного вагонопотоку можна лише у взаємозв'язку з іншими.

Результати дослідження роботи міжнародних залізничних стикових пунктів

Дану задачу можливо вирішити моделюванням процесів пропуску вагонопотоків через міжнародні стикові пункти з мінімізацією витрат на організацію руху. Для визначення ступеню участі кожної сортувальної станції у роботі полігона з розподілу роботи як з транзитним вагонопотоком, так і з вагонами, що прямують на експорт, необхідно встановити відповідні вагові коефіцієнти. Така задача може поширити склад комплексу функціональних задач автоматизованих робочих місць (АРМ) оперативних працівників станцій та залізниць та втілена на робочих місцях оперативних працівників.

Обговорення результатів дослідження роботи міжнародних залізничних стикових пунктів. При визначенні витрат на необхідне технічне обладнання станції та експлуатаційні витрати на переробку вагонопотоку на кожній сортувальній станції доцільно розглядати процес переробки вагонопотоку у вигляді лінії обробки з несинхронізованими процесами переробки, тому що інтенсивності надходження вагонопотоку та обробки у різних фазах є різними.

Відсутність синхронізації технологічних процесів на станції означає, що тривалість виконання операцій технологічного процесу різна і не кратна ритму роботи технологічної лінії. У наслідок цього є розходження по завантаженню робочих місць, технологічних ліній та засобів, що призводить до виникнення міжопераційних інтервалів. У зв'язку з цим при зміні обсягів роботи, пов'язаним зі скороченням кількості станцій потрібно розраховувати потрібний колійний ро-

зв'язок, кількість маневрових локомотивів, штат станції тощо.

Висновки. Для подальшої інтеграції України у ВТО, для підвищення доходів необхідне підвищення рівня транзитності вантажів, насамперед імпортих. Відповідна оптимізація та автоматизація при перетині кордону, введення уніфікованих документів, створення сучасних умов для переробки та транспортування вантажів ще більше підвищить ефективність роботи міжнародних стикових пунктів. Це сприятиме реалізації експортного потенціалу України та залученню іноземних інвестицій.

Список літератури: 1. Антецький, Д. С. Аналіз основних труднощів у роботі міжнародних залізничних стикових пунктів [Текст] / Д. С. Антецький, Г. М. Сіконенко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2013. – Вип. 135. – С. 7–12. 2. Киселев, В. В. Транзитний потенціал України: проблеми і перспективи [Електронний ресурс] / В. В. Киселев. – Режим доступу: <http://firearticles.com> – 05.01.2013. – загл. с. екрана 3. Болток, А. В. Транзитний потенціал морських портів України в умовах трансформації [Електронний ресурс] / А. В. Болток. – Режим доступу: <http://dspase.nbu.gov.ua> – 25.10.2015. 4. Головка, Т. В. Дослідження варіантів процесу просування вагонопотоків в напрямку поромних комплексів [Текст] / Т. В. Головка // Зб. наук. праць ДонІЗТ. – 2011. – Вип. 28. – С. 17–21. 5. Калашнікова, Т. Ю. Удосконалення інформаційно – керуючої системи залізниць в умовах інтероперабельності [Текст] / Т. Ю. Калашнікова, Є. М. Кушкін, Є. Д. Кіценко // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – 2014. – Вип. 146. – С. 61–65. 6. Коваль, Т. М. Україна: куди едем? [Електронний ресурс] / Т. М. Коваль. – Режим доступу: <http://zn.ua/> – 18.02.2012. 7. Пресс – центр: Объем транзитных перевозок в Украине серьезно упал [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.liga.net – 24.04.2015. 8. Украина, Грузия, Казахстан и Азербайджан будут совместно развивать транзитные перевозки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.news.infocar.ua – 21.09.2015. 9. Колесников, А. В. Перспективы для транзита [Текст] / А. В. Колесников // Порты Украины. – 2009. – №4. – С. 32–38. 10. Пашков, М. А. Украина на мировых рынках: Добро пожаловать или... [Електронний ресурс] / М. А. Пашков. – Режим доступу: <http://vitrenko.at.ua/> / 03.02.2012.

Bibliography (transliterated): 1. Anteckij, D., Sikonenko, G. (2013). Analiz osnovnih trudnoshhiv u roboti mizhnarodnih zaliznichnih stikovix punktiv. Zbimik naukovix prac UkrDAZT, 135, Kharkiv, 7–12. 2. Kiselev, V. (2009). Tranzitnyj potencial Ukrainy: problemy i perspektivy. Visnik Harkivs'kogo nacional'nogo universitetu im. V. N. Karazina, №851, Kharkiv, 88. 3. Boltok, A. (2013). Tranzitnyj potencial morskix portov Ukrainy v uslovijax transformacii. Zbimik nauchnyx trudov Tavricheskogo nacional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo, 4, Tavrichesk, 7–9. 4. Golovko, T. (2011). Doslidzhennya variantiv procesu prosuvannya vagonopotokiv v napryamku poromnix kompleksiv. Zbimik naukovix prac DonIZT, 28, Donetsk, 17–21. 5. Kalashnikova, T., Kushkin, E., Kicenko, E. (2014). Udoshkonalennya informacijno – keruyuchoi sistemi zaliznic v umovax interoperabelnosti. Zbimik naukovix prac UkrDAZT, 146, 61–65. 6. Koval, T. (2012). Ukraina: kuda edem? Zerkalo nedeli. Ukraina, Kiev, Feb 18, 2. 7. Press – centr (2015). Obem tranzitnyx perevozok v Ukraine serezno upal. Informacionnoe agentstvo LIGABiznesInform, Apr. 24, 10. 8. Neolit (2015). Ukraina, Gruzija, Kazaxstan i Azerbajdzhan budut sovmetno razvivat tranzitne perevozki. InfoCar.ua, Kiev, Sept. 21, 5. 9. Kolesnikov, A. (2009). Perspektivy dlya tranzita. Porty Ukrainy, №4, 32–38. 10. Pashkov, M. (2000). Ukraina na mirovyx rynkax: Dobro pozhalovat ili.... Zerkalo nedeli. Ukraina, Kiev, June 23, 2.

Надійшла (received) 07.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Малахова Олена Анатоліївна – кандидат технічних наук, Український державний університет залізничного транспорту, доцент кафедри «Управління експлуатаційною роботою»; майдан Фейербаха, 7, м. Харків, Україна, 61050;

Малахова Елена Анатольевна – кандидат технических наук, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, доцент кафедры «Управление эксплуатационной работой», площадь Фейербаха, 7, г. Харьков, 61050; тел.: 066-341-84-81; e-mail: alena_mal@mail.ru

Malakhova Olena – candidate of technical sciences, Associate professor, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Feuerbach sqr, 7 61050; tel.: 066-341-84-81; e-mail: alena_mal@mail.ru

Фат Карина Эдуардовна – студентка, Український державний університет залізничного транспорту, кафедра «Управління експлуатаційною роботою»; майдан Фейербаха, 7, м. Харків, Україна, 61050; тел.: 099-612-78-85; e-mail: www.karinka.ru08@mail.ru

Fat Karina Eduardovna – студентка, Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, кафедра «Управление эксплуатационной работой», площадь Фейербаха, 7, г. Харьков, 61050;

Fat Karyna – student, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, кафедра Department of "Management of operational work"; Feuerbach sqr, 7 61050; tel.: 099-612-78-85; e-mail: www.karinka.ru08@mail.ru

УДК 004.522

А. А. ШТЕПА, А. Ю. КОЛЛАРОВ

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСПОЗНАВАНИЯ РЕЧЕВЫХ КОМАНД В СЛОЖНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

В данной статье обсуждается применение методов обработки зашумленных сигналов в системах распознавания речевых команд и приводятся некоторые из результатов исследований в этой области. Основной целью исследования является повышения достоверности распознавания речевых команд в системах голосового управления техническими объектами в сложной акустической обстановке путем повышения соотношения сигнал/шум за счет применения пространственного разделения сигналов с помощью нескольких направленных микрофонов и цифровой обработки сигналов на основе адаптивной компенсации помех. Использование современных методов лингвистического распознавания речевых команд совместно с методом адаптивной компенсации для обработки зашумленного сигнала позволяет повысить достоверность распознавания речевых команд.

Ключевые слова: голосовое управление, распознавание речевых команд, адаптивная компенсация, аддитивный шум.

Введение. Управление техническими устройствами с помощью голосовых команд является одной из наиболее востребованных и развивающихся технологий на протяжении последних лет. Основным достоинством голосового интерфейса является естественность этого метода передачи информации для человека. Свободные руки и отсутствие необходимости визуального контроля над используемыми элементами управления снижают утомляемость оператора и повышают эффективность управления в целом.

Управление многими техническими средствами влечет за собой повышенный уровень ответственности, что значительно повышает требование к достоверности распознавания речевых команд управления. Если управление технически сложным объектом происходит в условиях с повышенным зашумлением (технологическое помещение, транспортное средство), его интенсивность может исказить результаты распознавания речевых команд. Таким образом, задача повышения достоверности распознавания речевых команд в сложных акустических условиях является актуальной.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Обзор методов повышения качества и разборчивости зашумленных речевых сигналов показывает, что существует много различных подходов к обработке зашумленной речи [1].

Универсальных методов обработки, которые одинаково хорошо боролись бы с преимущественно нестационарными и стационарными, аддитивными и мультипликативными шумами, существенно повышали бы качество и разборчивость речи, сейчас нет и перспективы их появления не определены [1]. Поэтому

му пути решения обозначенной задачи лежат в плоскости совместного использования взаимодополняющих методов.

Одной из наиболее эффективных групп методов обработки речевых сигналов с аддитивным шумом являются методы, основанные на адаптивной компенсации помех, которые позволяют значительно улучшить качество зашумленных сигналов – на несколько десятков децибел [2]. При наличии же нескольких каналов поступления информации эффективность метода может повыситься за счет применения оптимального весового суммирования дополнительных сигналов.

Для разделения смесей сигналов в работах [3, 4] успешно используется метод анализа независимых компонент (independent component analysis, ICA). Однако, ограничение, накладываемое методом на количество смесей, которое должно быть не большим количеством источников шумов и требование наличия полезного сигнала во всех смесях делают применение этого метода малоэффективным в случае динамического изменения акустической картины в реальных производственных условиях применения многоканальной системы распознавания. В рамках классического весового подхода адаптивной компенсации [3, 4] выходной сигнал получают путем вычитания из сигнала основного канала взвешенной суммы сигналов дополнительных каналов. Ограничением для применения весового подхода является предположение об отсутствии полезного сигнала в дополнительных каналах. Эффективным решением для реализации этого подхода может стать многоканальная система на базе узконаправленных микрофонов, реализующая

принцип пространственного разделения каналов [5, 6]. Весьма интересен и эффективен подход использованный разработчиками слуховых аппаратов Phonak, применяющих многомикрофонные решения и сложные алгоритмы изменения параметров такой системы с целью достижения наибольшей разборчивости речи для разных направлений [7, 8].

Обработанный с целью устранения влияния шумов сигнал подвергают одной из существующих процедур распознавания речевых команд. Весьма эффективными считаются методы распознавания, основанные на процедурах нелинейного временного выравнивания (динамического программирования) [9].

Объект, цель и задачи исследования. *Объектом исследования* является процесс распознавание речевых команд в системах управления техническими устройствами. *Целью работы* является повышения достоверности распознавания речевых команд в системах голосового управления техническими объектами.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие *задачи*: -проанализировать специфику акустических условий характерных для эксплуатации систем голосового управления сложными техническими устройствами в производственной сфере; обосновать применение многомикрофонной системы распознавания речевых команд управления с целью использования преимуществ пространственного разделения сигналов; предложить метод повышения достоверности распознавания речевых команд управления, на основе взаимно дополняющих друг друга существующих методов и разработать его базовый алгоритм.

Анализ методов обработки зашумленных речевых сигналов. Рассмотрим акустические условия, характерные для технологических, складских помещений и кабин транспортных средств. Если техногенные шумы часто имеют стационарный характер и вполне определенную полосу частот, то шумы производимые говорящим человеком, находящимся в одном помещении с оператором, будут представлять наибольшую угрозу для задачи достоверного распознавания команд управления. Кроме того, сам оператор в процессе выполнения своих непосредственных обязанностей может и должен перемещаться в помещении или, по крайней мере, изменять положение головы. В этом случае источник полезного сигнала будет менять свое расположение по отношению к стационарно закрепленным микрофонам системы. Например, в салоне автомобиля водителю следует внимательно следить за обстановкой на проезжей части поворачивая для этого голову, а требовать использования наушников или закрепленного на голове микрофона, отвлекающего, создающего дискомфорт и повышающего утомляемость от водителя нельзя. В этом случае рациональным решением будет применение принципа пространственного разделения сигналов с помощью нескольких узконаправленных микрофонов, диаграммы направленности которых, минимально пересекаясь друг с другом (рис. 1).

Рассмотрим особенности обработки зашумленных речевых сигналов. Адаптивная компенсация помех основана на использовании, помимо основного зашумленного сигнала, который подлежит очистке,

также одного или нескольких дополнительных сигналов – сигналов, которые коррелированы с шумовыми сигналами и одновременно некоррелированы (или слабо коррелированы) с полезным сигналом. С помощью дополнительных сигналов формируется сигнал, выступающий оценкой помехи. Этот сигнал затем вычитается из зашумленного сигнала и результат этой операции рассматривается как оценка полезного сигнала [1].

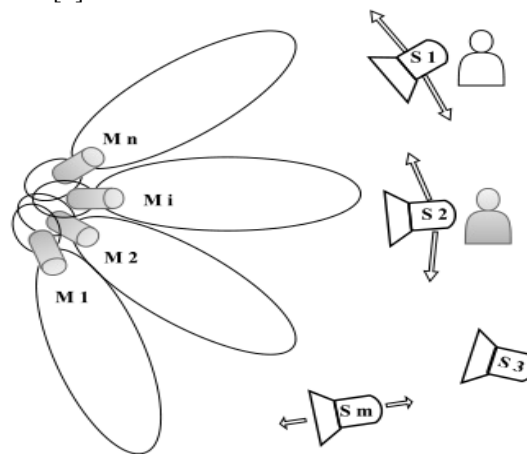


Рис. 1 – Расположение микрофонов (M1, M2, Mi, Mn) и источников звуковых сигналов и шумов (S1, S2, S3, Sm) в многоканальной системе распознавания речевых команд управления

Таким образом, эффективность методов адаптивной компенсации непосредственно зависит от доступности качественных опорных сигналов, удовлетворяющих требованиям коррелированности с шумом и одновременной некоррелированности (или слабой степени коррелированности) с полезным сигналом. На практике получение таких сигналов достигается использованием двух микрофонов, размещаемых таким образом, чтобы один из них был направлен на предполагаемый источник полезного сигнала, а диаграмма направленности второго не захватывала полезный сигнала.

В случае стационарного размещения группы направленных микрофонов важной задачей становится определение основного и вспомогательных каналов. Критерием такого определения может служить соотношение сигнал/шум. Однако, если в помещении разговаривают несколько человек, выделить голос оператора, опираясь на частотную полосу становится трудно. В качестве эффективного критерия может выступать параметр, получаемый на основе применения существующих методов распознавания речевых команд на лингвистическом этапе распознавания. Таким параметром может служить мера близости между полученным системой сигналом и одним из эталонов библиотеки команд. Оценка меры близости между входным речевыми сигналами и эталоном может производиться с помощью метода нелинейного временного выравнивания (динамического программирования) [9]. Метод позволяет сравнивать разные по длительности образцы независимо от темпа речи. Пусть сравнивается два образца сигналов, представленных в виде массива векторов (для речевых сигналов это наборы линейных спектральных корней):

$$X = \{ \bar{x}_0, \bar{x}_1, \dots, \bar{x}_i, \dots, \bar{x}_N \}, \quad (1)$$

$$Y = \{ \bar{y}_0, \bar{y}_1, \dots, \bar{y}_i, \dots, \bar{y}_M \}. \quad (2)$$

Различие между векторами двух образов определяется последовательностью состояний S_k и обозначается:

$$F() = \{ C_0, C_1, \dots, C_k, \dots, C_K \},$$

где C_0 и C_K – начальное и конечные состояния, $F()$ – функция временного выравнивания, которая проецирует временную область одного образа на временную область другого. В методе динамического программирования ищется такая функция $F()$, при которой путь из состояния C_0 в состояние C_K , является оптимальным, т. е. будет обеспечено минимальное накопленное расстояние между двумя образами. При построении оптимального пути, на каждом шаге алгоритма используется основная формула:

$$d_{i,j} = \min \left\{ \begin{array}{l} d_{i,j-1} + r(\bar{x}_i, \bar{y}_j) \\ d_{i-1,j-1} + r(\bar{x}_i, \bar{y}_j) \\ d_{i-1,j} + r(\bar{x}_i, \bar{y}_j) \end{array} \right\}, \quad (3)$$

где $i=0\dots N, j=0\dots M$.

В качестве расстояния между векторами используется взвешенная евклидова метрика:

$$r(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{k=0}^{N_SEC-1} (x_k - y_k)^2, \quad (4)$$

где N_SEC – размерность векторов признаков.

На выходе процедуры сравнения получается некоторое число (мера близости), представляющее собой величину, обратную степени близости между сигналами. В работе [9] предложено решение задачи автоматического отсеивания ложных срабатываний, основанное на нормировании оценок меры близости. Предложенный критерий позволяет оценивать достоверность распознавания текущего слова [9] и может быть использован с целью определения базового канала из числа задействованных.

Алгоритм определения основного канала многоканальной системы распознавания речевых команд. В качестве оценки достоверности $D(i)$ выбора базового канала может служить величина, характеризующая степень близости между сигналом, полученным системой и ближайшим к нему эталоном, оцененная в предположении, что i -тый канал является основным, а остальные – дополнительными. Такая оценка будет величиной обратной по отношению к мере близости. Таким образом, вычисление критерия для оценки достоверности выбора базового канала не будет требовать дополнительных вычислительных мощностей. Кроме того, в качестве альтернативного критерия определения основного канала $D(i)$ может выступать величина характеризующая достоверность идентификации личности оператора как, например, в работе [10]. Идентификация личности по голосу проводится на сходных с распознаванием речевых команд принципах и так же подразумевает вычисление оценки достоверности. Сформируем общий алгоритм определения базового канала многоканальной системы распознавания речевых команд на основе предложенного критерия (рис. 2).

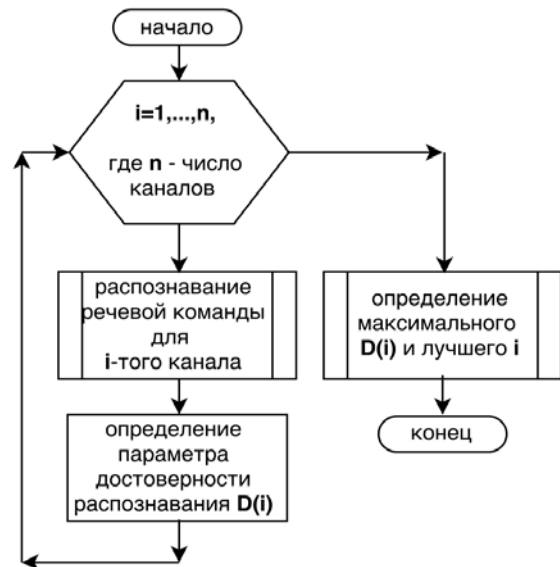


Рис. 2 – Общий алгоритм определения основного канала системы

При наличии в системе n независимых каналов и минимальным взаимным перекрытием диаграмм направленностей микрофонов определение базового канала может быть проведено перебором всех задействованных каналов в предположении, что каждый из них может быть базовым в текущий момент. Недостатком алгоритма является увеличение времени обработки в n раз, что повысит требования к вычислительной мощности системы. Количество каналов системы рационально выбирать более двух. При двух каналах эффективность пространственного разделения будет достаточно низкой, когда источник полезного сигнала займет положение, при котором полезный сигнал попадет в оба канала. В этом случае ни один из каналов не сможет эффективно выступать в качестве дополнительного. Увеличение количества каналов приведет к более выраженному положительному эффекту от пространственного разделения сигнала. Однако, использование большого количества независимых каналов приведет к необоснованному усложнению системы.

Перспективными направлениями для дальнейших исследований в обсуждаемой области могут стать моделирование работы системы с целью определения оптимального числа направленных микрофонов, разработка алгоритмических решений оптимизации вычислительной нагрузки, а также изучение влияния диаграмм направленности микрофонов на эффективность работы системы.

Выводы. На основании проведенного анализа особенностей акустической картины характерной для систем голосового управления в качестве наиболее эффективного в условиях нескольких перемещающихся источников шума предлагается использовать метод адаптивной компенсации совместно с пространственным разделением сигнала, осуществляемым за счет реализации многоканальной системы на базе узконаправленных микрофонов.

В качестве критерия надежного определения основного канала многомикрофонной системы предложено ис-

пользовать величины, характеризующие меру близости полученного сигнала к известному образцу команды, рассчитываемые на лингвистическом этапе распознавания.

Список литературы: 1. Чучупал, В. Я. Цифровая фильтрация зашумленных речевых сигналов [Текст]: Сообщение по программному обеспечению ЭВМ / В. Я. Чучупал, А. С. Чичагов, К. А. Маковкин ; под ред. Ю. И. Журавлева ; Вычислительный центр РАН – М. : Вычислительный центр РАН, 1998. – 52 с. 2. McWhirer, J. S. A Digital Adaptive Noise-Canceller Based on a Stabilizer Version of the Widrow L.M.S. Algorithms [Text] / J. S. McWhirer, K. J. Palmer, J. B. Roberts // A, Proc. 1982, IEEE Int. Conf. ASSP, pp.1384-1387. 3. Ширман, Я. Д. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория: [Текст] Справочник / Я. Д. Ширман – М. : Радиотехника, 1998. – 828 с. 4. Ревунова, Е. Г. Разделение сигнальных смесей на основе принципа минимальной длины описания [Текст] / Е. Г. Ревунова // Компьютерні засоби, мережі та системи. – 2005.– № 4 С. 86–93. 5. Ricketts, T. 1999. Comparison of performance across three directional hearing aids [Text] / T. Ricketts, S. Dhar // J Am Acad Audiol 10(4):180-9 – 1983. 6. Gnewikow et al. Real-world benefit from directional microphone hearing aids. // J Rehabil Res Dev 46(5):603-18 – 2005. 7. Nyffeler, M. Auto ZoomControl – Automatic change of focus to speech signals of interest [Electronic resource] / M. Nyffeler // Field Study News. – September 2010. – Available at: http://www.phonakpro.com/content/dam/phonak/b2b/C_M_tools/Library/Field_Study_News/en/. 8. Nyffeler, M. Field Study on User Control of Directional Focus: Benefits of Hearing the Facets of a Full Life [Text] / M. Nyffeler, S. Dechant // Hearing Review. – 2008 – 16(1) – pp. 24-28. 9. Гладышев, К. К. Информативные признаки на основе линейных

спектральных корней в системах распознавания речевых команд : [Текст] : автореф. дис. ... к-та тех. наук : 05.13.01 / К. К. Гладышев [Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. Проф. Бонч-Бруевича]. – С.-Пб., 2010. – 16 с. 10. Ахмад, Х. М. Математические модели принятия решений в задачах распознавания говорящего [Текст] / Х. М. Ахмад // Вестник ТГТУ – 2008, – Т. 14, №1. – С. 19–31.

Bibliography (transliterated): 1. Chuchupal, V. Ya., Chichagov, A. S., Makovkin, K. A.; In: Zhuravlev, Yu. I. (1998). Tsifrovaia fil'tratsiia zashumlennykh rechevykh signalov. Moscow: Vychislitel'nyi tsentr RAN, 52. 2. McWhirer, J.S., Palmer, K.J., Roberts J.B. (1982). A Digital Adaptive Noise-Canceller Based on a Stabilizer Version of the Widrow L.M.S. Algorithms, Proc. IEEE Int. Conf. ASSP, 1384-1387. 3. Shirman, Ya. D. (1998). Radioelektronnye sistemy: osnovy postroeniya i teoriya: Spravochnik. M.: Radiotekhnika, 828. 4. Revunova, E. G. (2005). Razdelenie signal'nykh smesey na osnove principa minimal'noj dliny opisanija. Komp'juterni zasobi, merezhi ta sistemi, 4, 86–93. 5. Ricketts, T., Dhar, S. (1999). Comparison of performance across three directional hearing aids. J Am Acad Audiol 10(4):180-9. 6. Gnewikow et al. (2005). Real-world benefit from directional microphone hearing aids. J Rehabil Res Dev 46(5):603-18. 7. Nyffeler, M. (2010). auto ZoomControl – Automatic change of focus to speech signals of interest. Field Study News, September: www.phonakpro.com. 8. Nyffeler, M., Dechant, S. (2008). Field Study on User Control of Directional Focus: Benefits of Hearing the Facets of a Full Life. Hearing Review. 16(1):24-28. 9. Gladyshev, K. K. (2010). Informativnye priznaki na osnove lineinykh spektral'nykh kornei v sistemah raspoznavaniia rechevykh komand. S.-Pb., 16. 10. Akhmad, Kh. M. (2008). Decision-Making Mathematical Models for Tasks of Speaker's Recognition. Vestnik TGTU, Vol. 14. № 1, 19–32.

Поступила (received) 20.10.2015.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Штепа Александр Анатольевич – кандидат технических наук, ГВУЗ Донецкий национальный технический университет, доцент кафедры электронной техники; пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, Украина, 85300;

Штепа Олександр Анатолійович – кандидат технічних наук, ДВНЗ Донецький національний технічний університет, доцент кафедри електронної техніки; пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, Україна, 85300;

Shtepa Aleksandr – Candidate of technical science, State Higher Education Establishment “Donetsk National Technical University”, Department of Electronic Engineering; Shybankova Square, 2, Krasnoarmiysk, Donetsk region, 85300, Ukraine; tel.: +38-063-400-65-65; e-mail: A.Shtepa@mail.ru.

Колларов Александр Юрьевич – кандидат технических наук, ГВУЗ Донецкий национальный технический университет, и. о. заведующего кафедрой электрической инженерии; пл. Шибанкова, 2, г. Красноармейск, Украина, 85300; тел.: 050-646-54-38; e-mail: kollarov@ukr.net.

Колларов Олександр Юрійович – кандидат технічних наук, ДВНЗ Донецький національний технічний університет, в. о. завідувача кафедри електричної інженерії; пл. Шибанкова, 2, м. Красноармійськ, Україна, 85300; тел.: 050-646-54-38; e-mail: kollarov@ukr.net.

Kollarov Oleksandr – Candidate of technical science, State Higher Education Establishment “Donetsk National Technical University”, Department of Electrical Engineering; Shybankova Square, 2, Krasnoarmiysk, Donetsk region, 85300, Ukraine; tel.: +38-050-646-54-38; e-mail: kollarov@ukr.net

УДК 004.5:004.78 (045)

Є. Б. АРТАМОНОВ, Г. М. КРЕМЕНЕЦЬКИЙ, А. О. ДЛУЖЕВСЬКИЙ, О. В. ПАНФЬОРОВ

ПІДХОДИ ДО РЕАЛІЗАЦІЇ АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО НАВЧАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ШРИФТУ БРАЙЛЯ

Розглядається реалізація апаратно-програмного навчального комплексу, який представляє собою тактильний дисплей для виведення шостикрапкового символу в системі Брайля на основі сигналів з комп'ютера та спеціальне програмне забезпечення. Робота з тактильним дисплеєм відбувається завдяки подачі постійного струму через електромеханічні елементи. Особливу увагу приділено компоновці елементів на схемі та можливості використання комплексу у мережі. Результати дослідження можна використовувати для випуску навчальних електронних пристроїв для людей з вадами зору.

Ключові слова: апаратно-програмний комплекс, шрифт Брайля, навчання інвалідів зору, програмне забезпечення.

Вступ. За статистикою, в Україні живе близько 70 тисяч сліпих людей. За відсутності зору сліпим людям доводиться покладатися на інші джерела інформації, такі як звук та тактильні відчуття. Так для чи-

тання одним з найрозповсюдженіших тактильних шрифтів є шрифт Брайля.

В Україні не більше 10 % інвалідів зору володіють шрифтом Брайля, і ця проблема нагадує замкнене

© Є. Б. Артамонов, Г. М. Кременецький, А. О. Длужевський, О. В. Панфьоров. 2015

коло, коли нема потреби друкувати різноманіття книг шрифтом Брайля, тому що даним шрифтом володіє мала кількість читачів, але за рахунок відсутності різноманіття книг шрифтом Брайля не може з'явитись більша кількість читачів.

Проблема незнання шрифту Брайля та складність у його опануванні загострює інші проблеми: особливості адаптації, особистісного розвитку незрячих та слабозорих людей [1, 2, 5]. При цьому більшість тифлопедагогів відзначають необхідність застосування комп'ютерних технологій в процесі професійної підготовки незрячих людей під час навчального процесу [3, 6, 7].

На сьогодні спостерігається перехід від читання шрифтом Брайля до аудіо інформації. Але рельєфно-тактильний шрифт має ряд переваг перед звуковою передачею інформації, тому однією з додаткових задач, яку можна реалізувати за допомогою створення простого у використанні і недорогого апаратно-програмного навчального комплексу, – це популяризація читання шрифтом Брайля. До того ж на сьогодні відзначається брак безкоштовних синтезаторів української мови, їх обмежений функціонал та якість роботи [4], що змушує не використовувати тексти українською мовою.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є практичний аналіз можливих підходів до реалізації апаратно-програмного комплексу для навчання шрифту Брайля.

Задачею дослідження є обґрунтування можливих апаратних та програмних рішень навчального комплексу для навчання шрифту Брайля.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Дослідити існуючі апаратні і програмні рішення для навчання сліпих і слабозорих шрифту Брайля.
2. Удосконалити існуючі рішення і побудувати власну концепцію апаратно-програмного комплексу навчання шрифту Брайля.

Аналіз світових тенденцій розвитку апаратно-програмних систем для роботи з шрифтом Брайля. З появою аудіосупроводу в сучасних пристроях, шрифт Брайля частково втратив популярність. Причин відмови від шрифту Брайля на користь аудіокнигам є декілька: складність навчання, вартість допоміжних засобів та відсутність відкритого програмного забезпечення. В світі розповсюдження набули дисплеї Брайля, які дозволяють як виводити символи, так і вводити, але їх використання обмежується їх вартістю (від 1000 до 5000 Євро), при цьому відсутній окремий клас пристроїв для навчання.

Оскільки дисплеї Брайля – комерційні продукти, то компанії-розробники забезпечують повну підтримку та безкоштовний програмний продукт для роботи з їх пристроєм, але, з огляду на те, що ПЗ розробляється для певної серії пристроїв, воно майже завжди має закритий програмний код. Тому при розробці нових дисплеїв Брайля програмне забезпечення пишеться практично «з нуля». Крім цього відсутні навчальні програми для дисплеїв, де можна було б покроково навчатися читати Брайлем, а існуючі курси орієнтовані на використання неелектронних наборних літер (дерев'яних або пластикових). Після навчання на спеціально збільшених літерах починається навчання на літерах натуральної величини. І тільки після засвоєння шрифту на достатньому

рівні переходять до дисплеїв Брайля. **Описання підходів до розробки апаратної частини навчального комплексу.** Загальний принцип роботи навчального комплексу представлено на схемі рис. 1.

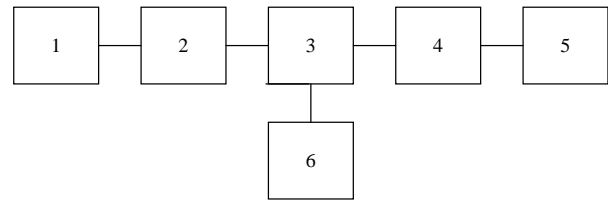


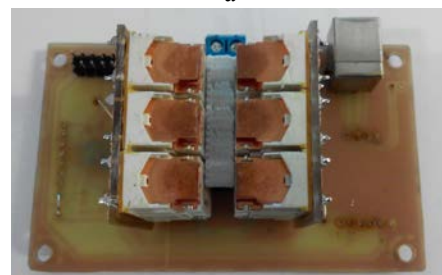
Рис. 1 – Схематичне представлення апаратно-програмного навчального комплексу

Дані надходять до пристрою по протоколу USB (блок 1). У випадку, якщо блок керування (блок 3) не має вбудованої реалізації інтерфейсу USB, а лише реалізацію інтерфейсу UART, в такому випадку для перетворення сигналів необхідно використати відповідний перетворювач (блок 2). Дані, що надходять до контролера обробляються комп'ютерним алгоритмом. Після обробки даних контролер подає сигнали на драйвер дисплею (блок 4). Драйвер дисплею визначає стан дисплею в відповідності до отриманих сигналів. Тактильний дисплей (блок 5) представляє собою електромеханічний пристрій для виведення інформації. Керування можливе за допомогою електромеханічних елементів інтерфейсу користувача (блок 6).

На основі представлених підходів розроблено декілька тестових аналогів з окремим і вбудованим блоком керування (рис. 2). Апаратна частина може бути представлена наступною проектною схемою (рис. 3).



а



б

Рис. 2 – Приклади реалізації одного сегменту дисплея Брайля: а – з окремим блоком керування, б – з вбудованим блоком керування

Описання розробленого програмного забезпечення. При розробці програмного забезпечення спиралась на минулий досвід розробки систем по роботі з текстами, в яких більшість функцій була виведена на автоматичний режим [8, 9].

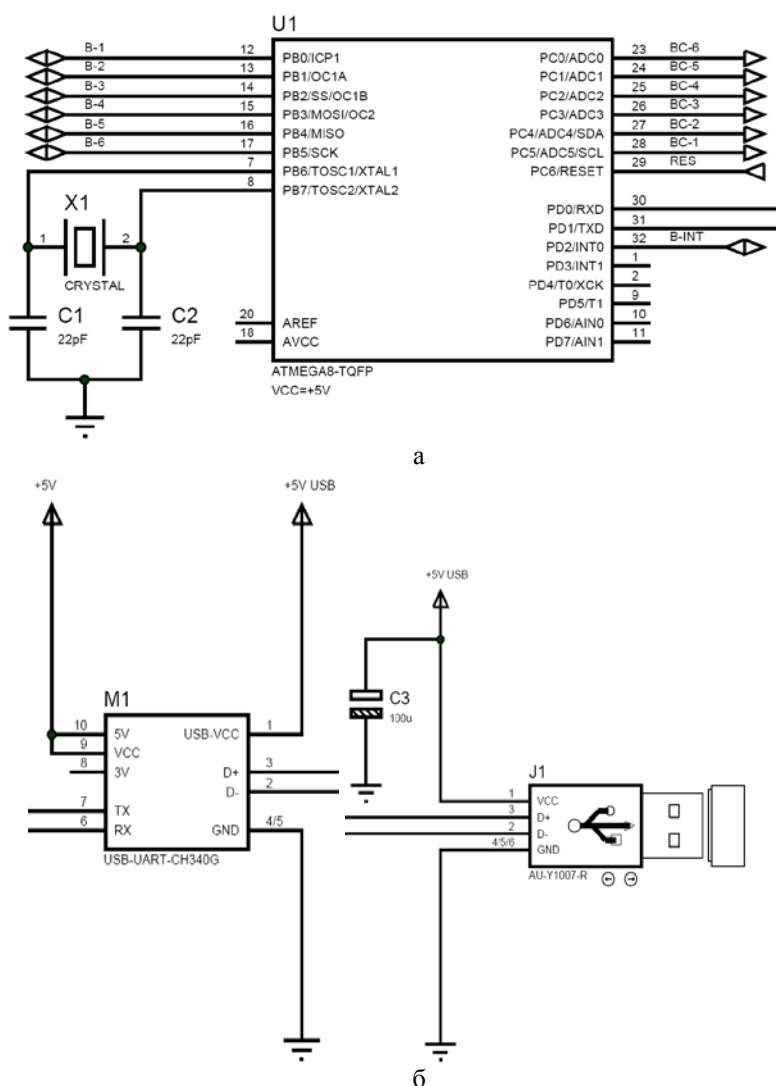


Рис. 3 – Проектна схема реалізації апаратної частини навчального комплексу: а – блок керування, б –перетворювач сигналів USB-UART та роз'єм інтерфейсу USB

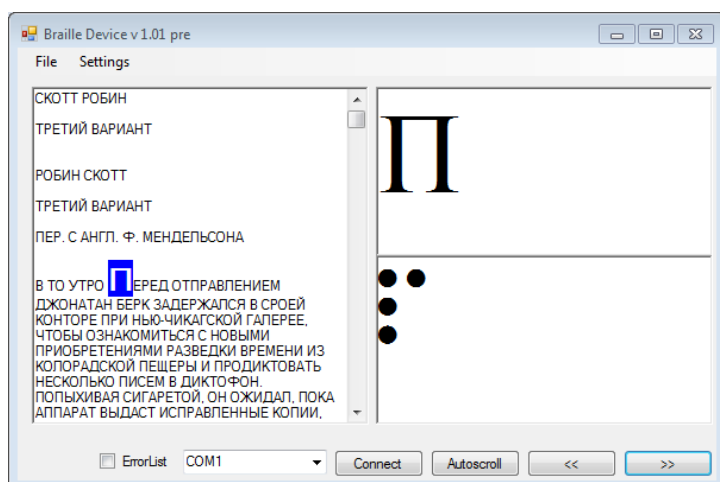


Рис. 4 – Інтерфейс програмного забезпечення апаратно-програмного навчального комплексу

Розроблене програмне забезпечення виконує наступні функції:

1) відкриває текстові файли, додає службові символи. У шрифті Брайля відсутній поділ на великі і ма-

лі літери, а перед кожним числом додається спеціальний символ;

2) дозволяє використовувати практично будь-які шрифти. Записавши у файл символи алфавіту та службові символи спеціальним чином, можливо використовувати обраний алфавіт;

3) здійснює формування пакету символів для передачі на дисплей Брайля. Крім кодів символів, перетворених згідно до алфавіту, передається кількість символів в пакеті, що може варіюватись, в залежності від довжини рядку у дисплеї;

4) виводить на екран комп'ютера поточні літери, як у звичній буквеній формі, так і у вигляді точок шрифту Брайля;

5) реалізує автоматичне перегортання, що дозволяє автоматично переходити на наступний символ, із заданим інтервалом;

6) отримує зворотний зв'язку від пристрою для реалізації керування.

Інтерфейс програми наведено на рис. 4.

Більш детально описання програмного забезпечення представлено при отриманні авторського свідоцтва на програмний продукт [10].

Висновки. На основі проведеного аналізу існуючих підходів до створення електронних навчальних комплексів для незрячих була виявлена відсутність напрацювань для навчання дітей інвалідів зору. У світі для навчання використовуються стандартні дисплеї Брайля з 40 або 80 літерами у рядку. Всі інші проекти залишились на стадії описання ідеї або концептуальної схеми – до них відносяться і розрекламовані сенсорні смартфони та планшети з шрифтом Брайля. А навчальні електронні пристрої не розглядаються навіть як концепція.

Після отримання першої версії приладу і його тестуванні інвалідами зору були виявлені основні недоліки розробленої моделі, які більше стосувались ергономіки, ніж апаратної реалізації. До основних недоліків було віднесено: вузький простір для розташування рук на дисплеї, наявність окремого короба для розташування блоку керування, відсутність додаткових керуючих клавіш, тощо. Саме тому нова модель вже вийшла з чогирма керуючими клавішами, що біля розташовані під ліву і праву руки.

Практична значимість проведених досліджень полягає в детальному описі реалізації апаратно-програмного комплексу, що спрощує перехід до промислового виробництва навчальних систем для інва-

лідів зору. Результати дослідження можна використувати для випуску навчальних електронних пристроїв не тільки для інвалідів зору, але і для тифлопедагогів, як засіб для спрощення і прискорення освоєння шрифту Брайля не тільки інвалідами зору, а також студентами – майбутніми тифлопедагогами.

Список літератури: 1. *Кобзарь, А. В.* Барьеры в обучении школьников с альтернативным развитием в США [Текст] / *А. В. Кобзарь, И. С. Бессарабова* // Электронный журнал "Современные исследования социальных проблем". – 2015. – №7(51). – С. 514–528. 2. *Красномовець, В. А.* Людський розвиток осіб з інвалідністю в Україні: оцінка стану забезпечення [Текст] / *В. А. Красномовець* // Наукові праці КНТУ. Економічні науки. – 2010. – № 17. – С. 367–373. 3. *Лозицький, О. А.* Інформаційні технології бібліотек для людей з вадами зору [Текст] / *О. А. Лозицький, О. В. Пасічник* // Сучасні проблеми діяльності бібліотеки в умовах інформаційного суспільства: наук.-практ. конф. 12 лист. 2009 р., Львів. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». – С. 168–173. 4. *Артамонов, Є. Б.* Порівняльний аналіз програм-синтезаторів української мови [Текст] / *Є. Б. Артамонов, М. О. Кучер* // Інтелектуальні технології лінгвістичного аналізу: міжн. наук.-техн. конф. 19-20 жовт. 2015 р. – К.: НАУ, 2015. – С. 9. 5. *Синьова, Є. П.* Рельєфно-кряпкове письмо сліпих. Шрифт Луї Брайля [Текст] : навч. посіб. / *Є. П. Синьова*. – Нац. пед. ун-т ім. М. П. Драгоманова. – К., 2003. – 108 с. 6. *Тулашвілі, Ю. Й.* Оновлення змісту, форм та методів навчання і виховання в закладах освіти [Текст] / *Ю. Й. Тулашвілі* // Збірник наукових праць. Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. – 2013. – № 7 (50). – С. 183–186. 7. Комп'ютерні технології та вища освіта людей з особливими потребами: Дистанційне навчання в системі соціально-трудової реабілітації : зб. наук. доп. і ст. / *Л. В. Коваленко [та ін.]*. – К.: Вища шк., 2002. – 255 с. 8. *Artamonov, Y. B.* Software for automated booktext manipulation [Text] / *Y. B. Artamonov* // Авіація у XXI столітті – "Безпека в авіації та космічні технології": VI Всесвітній конгрес. 23-25 верес. 2014 р. – К.: НАУ, 2014. – С. 1.12.1–1.12.4. 9. *Artamonov, E. B.* Concept of creating a software environment for

automated text manipulation. [Text] / *E. B. Artamonov, O. O. Zholdakov* // Scientific journal "Proceedings of the National Aviation University". – К.: НАУ. – 2010. – № 3(44). – P. 111–115. 10. Навчальний комплекс для вивчення шрифту Брайля: а.с. № 59638 Державна служба інтелектуальної власності України [Текст] / *Є. Б. Артамонов, А. О. Длужевський, О. В. Панфоров*. – № 60041, реєстрація 17.03.2015 р., свідоцтво 13.05.2015 р.

Bibliography (transliterated): 1. *Kobzar', A. V., Bessarabova, I. S.* (2015). Bar'ery v obuchenii shkol'nikov s alternativnym razvitiem v SSHA. EHlektronnyy zhurnal "Sovremennyye issledovaniya social'nykh problem", 7(51), 514–528. 2. *Krasnomovec', V. A.* (2010). Lyudsk'ij rozvitok osob z invalidnistyu v Ukraini: ocinka stanu zabezpechennaya Naukovi prac' KNTU. Ekonomichni nauki, 17, 367–373. 3. *Lozic'kij, O. A., Pasichnik, O. V.* (2009). Informacijni tekhnologiyi bibliotek dlya lyudej z vadami zoru. Suchasni problemi diyal'nosti biblioteki v umovah informacijnogo suspil'stva: materialy naukovo-praktichnoyi konferenciyi, 12.11.2009, 168–173. 4. *Artamonov, Ye. B., Kucher, M. O.* (2015). Porivnyal'nij analiz program-sintezatoriv ukrajins'koyi movi. Intelektual'ni tekhnologiyi lingvistichnogo analizu: mizhn. nauk.-tekh. konf. 9. 5. *Sin'ova, Ye. P.* (2003). Rel'yefno-krapkove pis'mo sliph. Shrift Luyi Brajlya : navch. posib., 108. 6. *Tulashvili, Yu. J.* (2013). Onovlennya zmistu, form ta metodiv navchannya i vihovannya v zakladah osviti. Zbirnik naukovih prac'. Naukovi zapiski Rivnensk'ogo derzhavnogo humanitarnogo universitetu, 7(50), 183–186. 7. *Kovalenko, L. V.* (2002). Komp'yuterni tekhnologiyi ta vishcha osvita lyudej z osoblivimi potrebami: Distancijne navchannya v sistemi social'no-trudovoyi rehabilitaciyi : zb. nauk. dop. i st., 255. 8. *Artamonov, Y. B.* (2014). Software for automated booktext manipulation. Aviaciya u XXI stolitti – "Bezpeka v aviaciyi ta kosmichni tekhnologiyi": VI Vsesvitnij kongres, 1, 1.12.1–1.12.4. 9. *Artamonov, E. B., Zholdakov, O. O.* (2010). Concept of creating a software environment for automated text manipulation. Scientific journal "Proceedings of the National Aviation University", № 3(44), 111–115. 10. *Artamonov, Ye. B., Dluževs'kij, A. O., Panforov, O. V.* (2015). Navchal'nij kompleks dlya vivchennya shrifta Brajlya. Derzhavna sluzhba intelektual'noyi vlasnosti. № 59638.

Надійшла (received) 03.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Артамонов Євген Борисович – кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління; пр. Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058; тел.: 050-443-88-96; e-mail: earth@ukr.net.

Артамонов Евгений Борисович – кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, доцент кафедры компьютеризированных систем управления; пр. Комарова, 1, м. Киев, Украина, 03058

Artamonov Yevhen Borisovitch – Candidate of Technical Sciences, National Aviation University, Associate Professor of Computerized Control Systems department; pr. Kosmonavta Komarova, 1, Kyiv, Ukraine, 03058

Кременецкий Георгий Миколайович – кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, доцент кафедри комп'ютеризованих систем управління; пр. Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058; тел.: 050-440-33-31; e-mail: george.kremenetsky@gmail.com.

Кременецкий Георгий Николаевич – кандидат технических наук, Национальный авиационный университет, доцент кафедры компьютеризированных систем управления; пр. Комарова, 1, м. Киев, Украина, 03058;

Kremenetsky Georgiy Mikolayovich – Candidate of Technical Sciences, National Aviation University, Associate Professor of Computerized Control Systems department; pr. Kosmonavta Komarova, 1, Kyiv, Ukraine, 03058;

Длужевський Андрій Олександрович – студент, Національний авіаційний університет, студент кафедри комп'ютерних систем та мереж; пр. Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058; тел.: 063-437-79-05; e-mail: dlandrew@ukr.net.

Длужевский Андрей Александрович – студент, Национальный авиационный университет, студент кафедры компьютерных систем и сетей; пр. Комарова, 1, м. Киев, Украина, 03058;

Dluževskiy Andrii Oleksandrovich – student, National Aviation University, student of Computer systems and networks department; pr. Kosmonavta Komarova, 1, Kyiv, Ukraine, 03058;

Панфоров Олександр Володимирович – студент, Національний авіаційний університет, студент кафедри комп'ютерних систем та мереж; пр. Комарова, 1, м. Київ, Україна, 03058; тел.: 099-322-51-17; e-mail: panforov.alex@gmail.com.

Панферов Александр Владимирович – студент, Национальный авиационный университет, студент кафедры компьютерных систем и сетей; пр. Комарова, 1, м. Киев, Украина, 03058;

Panforov Oleksandr Volodimirovich – student, National Aviation University, student of Computer systems and networks department; pr. Kosmonavta Komarova, 1, Kyiv, Ukraine, 03058;

В. В. ГЛАДКОВСКАЯ, И. В. РАСКЕВИЧ

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОБГРУНТУВАННЯ РИНКОВОЇ СТРАТЕГІЇ ТРАНСПОРТНО - ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ КОМПАНІЇ

У статті досліджується проблема забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних транспортно - експедиторських компаній в умовах невизначеності зовнішнього середовища їх функціонування, яка викликає необхідність вдосконалення методів та розвитку стратегічного підходу до управління транспортно - експедиторською діяльністю. Недостатня теоретична проробка методичних аспектів стратегічного аналізу, націлених на специфіку експедиторської діяльності, визначили актуальну потребу в вивченні поставленої проблеми.

Ключові слова: транспортно - експедиторська діяльність, конкурентоспроможність, ринкова стратегія, фактор, кваліфікація, цінова політика.

Вступ. Зараз на ринку працює близько 2,5 тисяч експедиторських фірм. Найбільші об'єднані в профільні спілки - Асоціацію міжнародних експедиторів України та Асоціацію «Укрзовніштранс», деякі також входять в Міжнародну федерацію експедиторських асоціацій, скорочено ФІАТА (англ. International Federation of Freight Forwarders Associations, FIATA). На частку компаній, що входять в ці структури, припадає близько 70 % усіх перевезень експортних, імпорتنих та транзитних вантажів в Україні.

Найбільша кількість компаній зосереджена в одеському та київському регіонах. Концентрація компаній у регіоні пов'язана з маршрутами основних вантажопотоків країни.

З одного боку, попит на подібні послуги дуже великий, з іншого - ризики і конкуренція також високі. Український ринок транспортно-експедиторських послуг знаходиться на стадії формування, і, в даний час, слабо представлений вітчизняними транспортно - експедиторськими компаніями (ТЕК), здатними надавати повний спектр транспортно-логістичних послуг і успішно конкурувати з їх зарубіжними партнерами. Для виживання в мінливому світі організації повинні переглядати свої цілі та стратегії, приводити їх у відповідність до змін зовнішнього середовища й самих організацій.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Для транспортно - експедиторських компаній при складанні стратегій була врахована специфіка ТЕД, досвід роботи світових та українських компаній, взаємозв'язок ринкової частки зі спеціалізацією компанії. Для обґрунтування ринкової стратегії ТЕК необхідно спочатку сформулювати їх. Перед складанням стратегій були детально вивчені підходи до формування та обґрунтування стратегій відомих чужинців. Зважаючи на вищесказане, були виділені типи ринкових стратегій для транспортно - експедиторської діяльності:

Стратегія проникнення на ринок характерна для компаній, які тільки виходять на ринок ТЕП [1,2]. Стратегія виходу з ринку такі компанії вже довгий час перебувають на ринку, але не змогли розвинутися [3]. До стратегії лідерства належать компанії, які орієнтовані на проникнення на міжнародні ринки нових послуг [4,5]. Стратегія дрібної універсальності фірми мають середній розвиток, невеликий досвід роботи, надає послуги середньої якості [6]. Стратегія спеціалізації характеризує високорозвинені компанії, але вони надають послуги на обмежених певних сегментах ринку, і не є універсальними [7-11].

На основі детального вивчення стратегій та аналізу ринку транспортних послуг можна розробити методику формування рейтингу ринкових стратегій, проаналізувати сильні та слабкі сторони компанії і сформулювати конкретні рекомендації для ТЕК.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження стала розробка методики формування ринкової стратегії транспортно - експедиторської компанії з урахуванням впливу різних факторів зовнішнього і внутрішнього середовища, яка забезпечить довготривалий успіх на ринку транспортно - експедиторських підприємств в сучасних умовах.

Предметом дослідження є процес формування та оптимізація ринкових стратегій розвитку транспортно - експедиторських компаній. Об'єктом дослідження являється діяльність транспортно - експедиторських компаній.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Проведення аналізу надання послуг ТЕК України.
2. Визначення оцінок верхньої і нижньої меж ринкових стратегій.
3. Розробити методику формування рейтингу ринкових стратегій ТЕК.

Матеріали та методи дослідження розробки методики обґрунтування ринкової стратегії транспортно-експедиторської компанії. Фактори, що впливають на обґрунтування ринкових стратегій фірм, оцінені експертами семи ТЕК. Остаточну кількісну оцінку визначимо за допомогою методу завдання вагових коефіцієнтів. Кожному фактору присвоєно певний коефіцієнт вагомості в інтервалі від 0,1 до 1, найбільш важливого з усіх факторів присвоювався коефіцієнт вагомості, рівний 1, а всім іншим - коефіцієнти, рівні часткам цього числа. Потім за допомогою методів математичної статистики була розрахована узагальнена думка експертів. Визначення середнього рангу та середньостатистичного значення S_j j-го фактору:

$$S_j = \frac{\sum_{i=1}^{m_i} a_{ij}}{m_{kj}}, \quad (1)$$

де a_{ij} – оцінка вагомості певного фактора, m_{kj} – кількість експертів, що оцінюють j-й фактор ($m_k \leq m$); i - номер експерта; $i = 1, \dots, m$; j - номер фактора, $j = 1, 2, \dots, n$.

Потім визначаються основні фактори та середній ранг кожного фактора. Чим більше величина S_j , тим більше важливість цього чинника.

Основні фактори, що впливають на обґрунтування ринкової стратегії:

1. *Наявність і склад матеріально - технічної бази:* наявність власних транспортних засобів; наявність парку власного або орендованого контейнерного обладнання; складська база, перевантажувальне або допоміжне обладнання.

2. *Персонал і управління:* дисциплінованість, цілеспрямованість керівника і співробітників; структура управління; стан молодих, активних і перспективних кадрів; мотивуючі чинники співробітників.

3. *Цінова політика:* рівень тарифних ставок по відношенню до середньо ринкових.

4. *Репутація:* досвід роботи на ринку; позитивна репутація фірми на ринку; популярність компанії в колах транспортних організацій і вантажовласників; членство в національних та міжнародних експедиторських асоціаціях.

5. *Кваліфікація:* якість обслуговування; наявність ліцензій та договорів на види діяльності; ступінь реагування на виникаючі проблеми; професіоналізм співробітників; науково-технічна база.

6. *Збільшення обсягів:* рівень постійного моніторингу ринку, аналізу та прогнозування; розвиток і навчання персоналу; мистецтво продажів; можливість надання широкого асортименту послуг; готовність виконувати великі замовлення; можливість гнучкого переходу з одного сегмента ринку на інший.

7. *Стабільність:* сформована клієнтська база; стабільні партнери компанії; рівень підтримки баз даних, їх аналіз; політика знижок; уміння аналізувати, прогнозувати і швидко приймати рішення.

8. *Другорядне розширення:* мережа контрагентів; філії та відділення в регіоні і за межами.

9. *Лідер / Відхід з ринку:* можливість надання радикально нових послуг.

Перераховані вище фактори, повинні розвиватися цілісно, велика частина з них мають прямий зв'язок, розвиток одного чинника веде до збільшення іншого.

Результати досліджень розробки методики обґрунтування ринкової стратегії транспортно-експедиторської компанії. Далі знайдемо середнє значення показників верхньої та нижньої меж для однієї стратегії. В кожному стовпці знаходиться найкраще значення показника, знайдені значення утворюють додатковий рядок чисел - показників стратегії - еталона.

Стандартизуємо таблицю оцінок верхньої і нижньої меж, це дозволить елімінувати неявну значимість

$$R_i = (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (1,322 - 0,614)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (1,094 - 0,410)^2 + (0,793 - 0,415)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (1,336 - 0,645)^2 + (1,336 - 0,645)^2 + (1,336 - 0,645)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (1,352 - 0,640)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (1,352 - 0,640)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,967 - 0,362)^2 + (0,628 - 0,439)^2 = 11,622$$

Для обчислення «дійсної» відстані між точками m -мірного простору необхідно витягти квадратний корінь з усіх величин:

показників, що виникає за рахунок їх різної варіації. Матриця перетвориться за такими формулами:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - \bar{x}_j}{\delta_j}, \quad (2)$$

$$\bar{x}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_{ij}, \quad (3)$$

$$\delta_j = \left[\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

де \bar{x}_j - середнє арифметичне всіх рівнів показника j ,

δ_j - середньоквадратичне відхилення показника j .

Наприклад, розрахуємо z_{11} :

1) середнє арифметичне

$$\bar{x}_1 = \frac{1}{6} * (8,91 + 0,99 + 0,99 + 8,91 + 3,465 + 6,435) = 4,95$$

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{((8,91 - 4,95)^2 + (0,99 - 4,95)^2 + (0,99 - 4,95)^2 + (8,91 - 4,95)^2 + (3,465 - 4,95)^2 + (6,435 - 4,95)^2)}{6}} = 4,096$$

2) середньоквадратичне відхилення показника j , $j = 1$.

$$3) z_{11} = (8,91 - 4,95) / 4,096 = 0,967$$

Аналогічно розрахуємо інші значення середнього арифметичного і середньоквадратичного відхилення, відповідні значення z_{ij} занесемо в табл. 1.

Таким чином, кожен стовпець таблиці являє собою вектор, координати який в сумі дорівнюють нулю, а довжина цього вектора - одиниці. Далі необхідно розрахувати відстані між векторами (рядками) показників кожної стратегії і стратегією - еталон. Оцінка R_i кожної i -ої стратегії обчислюється як квадрат відстаней між двома точками в m -вимірному просторі, координати першої - це значення показників стратегії-еталона, а координати другої - показники стратегії i .

R_i розраховується по формулі:

$$R_i = \sum_{j=1}^m k_j (x_{0j} - x_{ij})^2 \left(i = \sqrt{1, m} \right), \quad (5)$$

Коефіцієнти порівняльної значущості k_j необхідні для надання ваги різним показникам відповідно до їх важливості. Чим більше k_j , тим більш значущий показник j , тим більшою мірою відхилення від еталону буде впливати на загальну сумарну оцінку R_i , в даному випадку, всі наші показники мають однакову вагу, тому ми приймаємо $k_j = 1$.

Наприклад, для стратегії пристосування відстань до стратегії - еталона вираховується наступним чином.

$$R_i \left(i = \sqrt{1, m} \right) : \sqrt{R_i} = \sqrt{11,622} = 3,409$$

Таблиця 1 – Допустимі оцінки верхньої і нижньої меж ринкових стратегій

Стратегія	межа	Стабільність					Кваліфікація					Цінова політика	Репутація			
		Сформована клієнтська база	Стабільні партнери компанії	Рівень підтримки баз даних, їх аналіз	Політичні знижки	Уміння аналізувати і прогнозувати	Якість обслуговування	Нааявність ліцензій та договорів на види діяльності	Ступінь реагування на виникаючі проблеми	Професіоналізм співробітників	Науковотехнічна база	Рівень тарифних ставок по відношенню до середньоринкових тарифів	Досягнення роботи на ринку	Позитивна репутація фірми на ринку	Популярність компанії в ділових колах транспортних організацій і вантажовласників	Членство в національних та міжнародних експертських асоціаціях
Лідерство	верхня	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
	нижня	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Вихід	верхня	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	10	2	2	2
	нижня	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
Проникнення	верхня	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	нижня	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Спеціалізація	верхня	10	10	10	10	10	10	7	10	10	10	10	10	10	10	10
	нижня	8	8	8	8	8	8	3	8	8	8	3	8	8	8	8
Дрібна універсальність	верхня	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	10	5	5	5	5
	нижня	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Пристасування	верхня	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	нижня	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

Таблиця 2 – Показники для верхньої та нижньої меж ринкових стратегій з урахуванням коефіцієнта вагомості кожного фактора

Стратегія	Межа	Стабільність					Кваліфікація					Цінова політика	Репутація			
		Сформована клієнтська база	Стабільні партнери компанії	Рівень підтримки баз даних, їх аналіз	Політичні знижки	Уміння аналізувати і прогнозувати	Якість обслуговування	Нааявність ліцензій та договорів на види діяльності	Ступінь реагування на виникаючі проблеми	Професіоналізм співробітників	Науковотехнічна база	Рівень тарифних ставок по відношенню до середньоринкових тарифів	Досягнення роботи на ринку	Позитивна репутація фірми на ринку	Популярність компанії в ділових колах транспортних організацій і вантажовласників	Членство в національних та міжнародних експертських асоціаціях
Лідерство	верхня	9,9	9,4	7,1	8,1	9,9	9,9	8	9,3	9,7	8	8,7	8,1	9,6	7,7	8,6
	нижня	7,92	7,52	5,68	6,48	7,92	7,92	6,4	7,44	7,76	6,4	6,96	6,48	7,68	6,16	6,88
Вихід	верхня	1,98	1,88	1,42	1,62	1,98	1,98	1,6	1,86	1,94	1,6	1,74	-8,1	1,92	1,54	1,72
	нижня	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,43	0	0	0
Проникнення	верхня	1,98	1,88	1,42	1,62	1,98	1,98	1,6	1,86	1,94	1,6	1,74	1,62	1,92	1,54	1,72
	нижня	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Спеціалізація	верхня	9,9	9,4	7,1	8,1	9,9	9,9	5,6	9,3	9,7	8	8,7	8,1	9,6	7,7	8,6
	нижня	7,92	7,52	5,68	6,48	7,92	7,92	2,4	7,44	7,76	6,4	2,61	6,48	7,68	6,16	6,88
Дрібна універсальність	верхня	4,95	4,7	3,55	4,05	4,95	4,95	4	4,65	4,85	4	8,7	4,05	4,8	3,85	4,3
	нижня	1,98	1,88	1,42	1,62	1,98	1,98	1,6	1,86	1,94	1,6	1,74	1,62	1,92	1,54	1,72
Пристасування	верхня	7,92	7,52	5,68	6,48	7,92	7,92	6,4	7,44	7,76	6,4	6,96	6,48	7,68	6,16	6,88
	нижня	4,95	4,7	3,55	4,05	4,95	4,95	4	4,65	4,85	4	4,35	4,05	4,8	3,85	4,3

Таблиця 3 – Середнє значення показників верхньої і нижньої меж стратегій, середньоарифметичне і середньоквадратичне відхилення

Стратегія	межа	Стабільність					Кваліфікація					Цінова політика	Репутація			
		Сформована клієнтська база	Стабільні партнери компанії	Рівень підтримки баз даних, їх аналіз	Політика знижок	Уміння аналізувати і прогнозувати	Якість обслуговування	Навчальність ліцензій та договорів на види діяльності	Ступінь реагування на виникаючі проблеми	Професіоналізм співробітників	Науково-технічна база	Рівень тарифних ставок по відношенню до середньоринкових тарифів	Досвід роботи на ринку	Позитивна репутація фірми на ринку	Популярність компанії в ділових колах транспортних організацій і вантажовласників	Членство в національних та міжнародних експедиторських асоціаціях
Лідерство	верхня	8,910	8,460	6,390	7,290	8,910	8,910	7,200	8,370	8,730	7,200	7,830	7,290	8,640	6,930	7,740
	нижня	0,990	0,940	0,710	0,810	0,990	0,990	0,800	0,930	0,970	0,800	0,870	-5,265	0,960	0,770	0,860
Вихід	верхня	0,990	0,940	0,710	0,810	0,990	0,990	0,800	0,930	0,970	0,800	0,870	0,810	0,960	0,770	0,860
	нижня	8,910	8,460	6,390	7,290	8,910	8,910	4,000	8,370	8,730	7,200	5,655	7,290	8,640	6,930	7,740
Проникнення	верхня	3,465	3,290	2,485	2,835	3,465	3,465	2,800	3,255	3,395	2,800	5,220	2,835	3,360	2,695	3,010
	нижня	6,435	6,110	4,615	5,265	6,435	6,435	5,200	6,045	6,305	5,200	5,655	5,265	6,240	5,005	5,590
Спеціалізація	верхня	8,910	8,460	6,390	7,290	8,910	8,910	7,200	8,370	8,730	7,200	7,830	7,290	8,640	6,930	7,740
	нижня	0,990	0,940	0,710	0,810	0,990	0,990	0,800	0,930	0,970	0,800	0,870	-5,265	0,960	0,770	0,860
Дрібна універсальність	верхня	0,990	0,940	0,710	0,810	0,990	0,990	0,800	0,930	0,970	0,800	0,870	0,810	0,960	0,770	0,860
	нижня	8,910	8,460	6,390	7,290	8,910	8,910	4,000	8,370	8,730	7,200	5,655	7,290	8,640	6,930	7,740
Пристосування	верхня	3,465	3,290	2,485	2,835	3,465	3,465	2,800	3,255	3,395	2,800	5,220	2,835	3,360	2,695	3,010
	нижня	6,435	6,110	4,615	5,265	6,435	6,435	5,200	6,045	6,305	5,200	5,655	5,265	6,240	5,005	5,590
х		4,950	4,700	3,550	4,050	4,950	4,950	3,467	4,650	4,850	4,000	4,350	3,038	4,800	3,850	4,300
δ		4,097	3,890	2,938	3,352	4,097	4,097	2,824	3,849	4,014	3,311	3,182	5,363	3,973	3,186	3,559
ЭТАЛОН		8,910	8,460	6,390	7,290	8,910	8,910	7,200	8,370	8,730	7,200	7,830	7,290	8,640	6,930	7,740

Дійсне значення відстані стратегії спеціалізації до стратегії - еталона заносимо в табл. 4. Так само робимо розрахунки для всіх інших стратегій, значення занесемо в табл. 4. Далі всі стратегії ранжуються в порядку зростання. Чим менше відстань, тим краще стратегія компанії.

Таблиця 4 – Розрахунок комплексної оцінки таксонометричним методом

Стратегія підприємства	Відстань до підприємства-еталона	Місце
Лідерство	0,000	1
Вихід	11,323	6
Проникнення	10,918	5
Спеціалізація	2,950	2
Дрібна універсальність	7,580	4
Пристосування	3,409	3

Після розрахунків таксонометричним методом був сформований рейтинг ринкових стратегій ТЕК. Останнє місце займає стратегія виходу з ринку, вона є найгіршою. Не будемо включати її до рейтингу, вона є винятком, так як направляє компанію до виходу з аналізованого ринку. Рейтинг поетапного розподілу ринкових стратегій, дотримуючись якого, компанія досягне найкращих ринкових позицій виглядає наступним чином: проникнення - дрібна універсальність – пристосування - спеціалізація – лідерство [12-15].

Обговорення результатів розробки методики обґрунтування ринкової стратегії транспортно-експедиторської компанії. Поетапний перехід від однієї стратегії до іншої дозволить досягти компанії найкращого положення на ринку ТЕП. Був визначений рейтинг ринкових стратегій ТЕК за допомогою

таксонометричного методу.

Вивчивши основні підходи складання ринкових стратегій, специфіку галузі транспортно – експедиторських послуг, вплив спеціалізації компанії на стабільність ринкової частки, були виділені основні критерії та фактори, що впливають на обґрунтування ринкової стратегії ТЕК. При формуванні структури критеріїв та факторів в основному можна обмежитися двома рівнями. Найвищий узагальнюючий рівень доцільно назвати критерієм, він включає в себе фактори – найбільш детальний рівень. Рейтингові критерії та фактори необхідно представити в структурі, яка в повній мірі повинна відповідати специфіці бізнесу транспортно-експедиторських компаній та характеризувати всі аспекти діяльності ТЕК. При підведенні підсумків рейтингу різні критерії та показники можуть грати більшу або меншу роль. Для відображення відносної значимості критерію та фактора необхідно використовувати поняття вагомості чинника. Вагомість фактора відображає важливість даного критерія в рейтинзі. Для оцінки впливу кожного фактора на обґрунтування ринкової стратегії ТЕК використовували метод експертних оцінок, оскільки думка групи експертів надійніша, ніж думка окремого експерта.

Висновки. У статті був проведений аналіз ТЕК України, було виявлено, що найбільш стабільними на ринку є універсальні компанії, які розширюють сферу надаваних послуг за межі транспортно-експедиторських.

Було встановлено фактори, оцінка яких може найбільш комплексно характеризувати положення ТЕК на ринку. На основі розглянутого матеріалу були створені стратегії для ТЕК, представлена характери-

стика та рекомендації по ним, були проведені розрахунки для ранжування ринкових стратегій. Перше місце посіла стратегія лідерства, друге – спеціалізації, третє – пристосування, четверте – дрібної універсальності, п'яте – проникнення, шосте – виходу з ринку. Створено графік ринкових стратегій ТЕК. На основі цього була сформульована методика обґрунтування ринкової стратегії фірми.

А також були проведені, збір інформації про компанію та її положення на ринку ТЕП та оцінка кожного фактора, враховуючи співвідношення з еталонною оцінкою чинника на ринку. Проаналізовані сильні та слабкі сторони компанії. Проведений детальний аналіз ринку ТЕП, виявлені найбільш перспективні сегменти ринку та його слабкі місця. Враховуючи сильні і слабкі сторони компанії, можливості та загрози на ринку, формуються конкретні рекомендації для ТЕК.

Список літератури: *Портер, М.* Конкурентні переваги [Текст]: пер. з англ. / *М. Портер*. – М.: Альпіна Бізнес Букс, 2005. – 715 с. **2.** *Булишева, Т. С.* Моделювання ринкової стратегії фірми [Текст] / *Т. С. Булишева*. – М.: Москва, 2006. – 158 с. **3.** *Аакер, Д.* Стратегическое рыночное управление [Текст]: пер. с англ.; под ред. *С. Г. Божук*. – СПб.: Питер, 2007. – Серия «Теория менеджмента». – 7-е изд. – 496 с. **4.** *Ерьомин, В. В.* Маркетингові дослідження: конкурентний аналіз [Текст]: навч. пос. / *В. В. Ерьомин, Т. С. Селевич*; Томський політехнічний університет. – Томськ: Вид-во Томського політехнічного університету, 2009. – 200 с. **5.** *Юданов, А. Ю.* Конкуренція. Теорія і практика [Текст]: навч. пос. / *А. Ю. Юданов*. – 2-е вид. випр. і доп. – М.: ГНОМ-ПРЕСС, 1998. – 354 с. **6.** *Котлер, Ф.* Основи маркетингу. Професійне видання [Текст]: пер. с англ. / *Ф. Котлер*. – 12-те вид. – М.: ООО «И. Д. Вільямс», 2009. – 1072 с. **7.** *Маслова, Т. Д.* Стратегическое планирование маркетинга [Текст]: уч. пос. / *Т. Д. Маслова, И. О. Трушнікова*; под ред. засл. деят. науки РФ, д-ра экон. наук, проф. *Г. Л. Багиева*. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2012. – 96 с. **8.** *William, M.* Marketing (International Edition) [Electronic resource] / *M. William, O. C. Pride Ferrell*. – Houghton MIFFLIN Company Boston, 1995. – Available at: [www/ URL: http://trove.nla.gov.au/work/28296078](http://www.trove.nla.gov.au/work/28296078) **9.** *Edvinsson, L.* Intellectual Capital. Realizing Your Company's True Value by Finding Its Hidden Brainpower [Text] / *L. Edvinsson, M. S. Malone*. – New York: Harper Business, 1997. **10.** *Boulding, W.* A Dynamic Process Model of Service Quality: From Expectation To Behavioral Intentions [Text] / *W. Bould-*

ing // Journal of Marketing Reseach. – 1993. – Vol. 30. – P. 7–27. doi: 10.2307/3172510 **11.** *Lobo, A.* Port users perspective of the container transshipment business [Text] / *A. Lobo, J. Vivec* // Proceedings of the International Conference on Port and Maritime R&D and technology. – Singapore, 2001. **12.** *Fisk, R.* Tracking the Evolution of Services Marketing Literature [Text] / *R. Fisk, S. Brown, M. Bitner* // Journal of Retailing. – 1993. – Vol. 69, Issue 1. doi: 10.1016/s0022-4359(05)80004-1 **13.** *Zeithaml, V.* How Consumer Evaluation Processes Differ Between Goods and Services [Text] / *V. Zeithaml*; In *J. H. Donnelly, W. R. George*. – Marketing of Services, 1981. – P. 186–190. **14.** *Pride, W. M.* Marketing (International Edition) [Text] / *W. M. Pride, O. C. Ferrell*. – Houghton MIFFLIN Company Boston, 1995. **15.** *Prahalad, C. K.* The Core Competence of the Corporation [Text] / *C. K. Prahalad, G. Hamel*. – Harvard Business review, 1990.

Bibliography (transliterated): **1.** *Porter, M.* (2005). Konkurentni perevahy. Moscow: Alpina Biznes Buks, 715. **2.** *Bulysheva, T. S.* (2006). Modeliuvannia rynkovoї stratehii firmy. Moscow, 158. *Aaker, D.*; In *Bozhuk, S. G.* (2007). Strategicheskoe rynochnoe upravlenie, Serija «Teorija menedzhmenta», 7-e izd. Saint-Petersburg: Piter, 496. **3.** *Eromin, V. V., Selevych, T. S.* (2009). Marketynhovi doslidzhennia: konkurentnyi analiz. Tomskiy politekhnichnyi universytet. Tomsk: Vyd-vo Tomskoho politekhnichnoho universytetu, 200. **4.** *Yudanov, A. Yu.* (1998). Konkurentsia. Teoriia i praktyka, 2-e vyd. vypr. i dop. Moscow: HNOM-PRESS, 354. **5.** *Kotler, F.* (2009). Osnovy marketynhu. Profesine vydannia, 12-te vyd. Moscow: OOO «Y. D. Viliams», 1072. **6.** *Maslova, T. D., Trushnikova, I. O.*; In *zasl. dejat. nauki RF, d-ra jekon. nauk, prof. Bagieva, G. L.* (2012). Strategicheskoe planirovanie marketinga. SPb.: Izd-vo Saint-Petersburg GUJeF, 96. **7.** *William, M., Pride Ferrell, O. C.* (1995). Marketing (International Edition). Houghton MIFFLIN Company Boston. Available: <http://trove.nla.gov.au/work/28296078> **8.** *Edvinsson, L., Malone, M. S.* (1997). Intellectual Capital. Realizing Your Company's True Value by Finding Its Hidden Brainpower. New York: Harper Business. **9.** *Boulding, W.* (1993). A Dynamic Process Model of Service Quality: From Expectation to Behavioral Intentions. Journal of Marketing Reseach, Vol. 30, 7–27. doi: 10.2307/3172510 **10.** *Lobo, A., Vivec, J.* (2001). Port users perspective of the container transshipment business. Proceedings of the International Conference on Port and Maritime R&D and technology. Singapore. **11.** *Fisk, R., Brown, S., Bitner, M.* (1993). Tracking the Evolution of Services Marketing Literature. Journal of Retailing, Vol. 69, Issue 1. doi: 10.1016/s0022-4359(05)80004-1 **12.** *Zeithaml, V.*; In *Donnelly, J. H., George, W. R.* (1981). How Consumer Evaluation Processes Differ Between Goods and Services. Marketing of Services, 186–190. **13.** *Pride, W. M., Ferrell, O. C.* (1995). Marketing (International Edition). Houghton MIFFLIN Company Boston. **14.** *Prahalad, C. K., Hamel, G.* (1990). The Core Competence of the Corporation. Harvard Business review.

Надійшла (received) 07.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гладковская Валентина Валерьевна – аспірант, Одеський національний морський університет, асистент кафедри експлуатації морських портів, ул. Мечникова, 34, г. Одеса, Україна 65000; тел.: 093-707-79-72; e-mail: fikyss2003@rambler.ru.

Гладковська Валентина Валеріївна – аспірант, Одеський національний морський університет, асистент кафедри експлуатації морських портів, вул. Мечнікова, 34, м. Одеса, Україна, 65000; тел.: 093-707-79-72; e-mail: fikyss2003@rambler.ru.

Gladkovskaya Valentyna – PhD student, Odessa National Marine University, assistant department of exploitation of marine ports, Mechnikova, 34, Odessa, Ukraine, 65000; tel.: 093-707-79-72; e-mail: fikyss2003@rambler.ru.

Раскевич Игорь Викторович – кандидат економічних наук, Одеський національний морський університет; доцент кафедри експлуатації морських портів, ул. Мечникова, 34, г. Одеса, Україна 65000; тел.: 098-554-55-30; e-mail: iischart@ukr.net.

Раскевич Игор Вікторович – кандидат економічних наук, Одеський національний морський університет, доцент кафедри експлуатації морських портів, вул. Мечнікова 34, м. Одеса, Україна, 65000; тел.: 098-554-55-30; e-mail: iischart@ukr.net.

Raskevych Igor – candidate of economic sciences, Odessa National Marine University, associate professor department of exploitation of marine ports, Mechnikova, 34, Odessa, Ukraine, 65000; ; tel.: 098-554-55-30; e-mail: iischart@ukr.net.

УДК 656.212.5(23.01):004.942

В. І. БОБРОВСЬКИЙ, А. С. ДОРОШ, Є. Б. ДЕМЧЕНКО

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗПУСКУ СОСТАВІВ НА СОРТУВАЛЬНИХ ГІРКАХ

Авторами розроблено програмний комплекс, який дозволяє моделювати процес розпуску составів на автоматизованій сортувальній гірці. Моделювання процесу скочування відцепів составу, що розформовується, у вказаній моделі виконується за рахунок взаємодії двох автономних модулів: модуля розпуску і модуля керування.

Розроблена імітаційна модель дає можливість вирішення широкого кола задач дослідження та оцінки ефективності заходів, спрямованих на підвищення якості інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відцепів, скорочення витрат енергоресурсів при розпуску составів на автоматизованих сортувальних гірках.

Ключові слова: сортувальна станція, сортувальна гірка, розформування составів, імітаційна модель, режим гальмування

Вступ. Сортувальні гірки є основним технічним засобом за допомогою якого виконується розформування-формування составів вантажних поїздів. Основним інструментом оцінки якості конструкції сортувальних пристроїв та теоретичних досліджень сортувального процесу з метою отримання показників якості роботи сортувальної гірки є імітаційне моделювання її функціонування [1-3].

Мета та задачі дослідження. Для вирішення вказаних задач необхідно розробити імітаційну модель розпуску составів, яка повинна детально імітувати процес керованого скочування відцепів составу, а також реалізацію основних функцій з керування маршрутами скочування відцепів та уповільнювачами гальмових позицій для забезпечення розділення відцепів.

Структура імітаційної моделі та методика моделювання. В розробленій авторами імітаційній моделі моделювання процесу скочування відчепа з сортувальної гірки виконується шляхом взаємодії двох відокремлених модулів: модулю розпуску, що імітує рух відчепа на спускній частині гірки на кожному кроці Δt та модулю керування. Модуль керування перетворює вхідні сигнали від блоку імітації розпуску по встановленому алгоритму і подає відповідні команди на виконавчі органи (уповільнювачі, гірковий локомотив). Слід зауважити, що така організація імітаційної моделі забезпечує незалежність модулю розпуску та модулю керування, що дозволяє виконувати дослідження різних автоматизованих систем та алгоритмів керування, не змінюючи при цьому модуль розпуску.

Модель сортувальної гірки. Модель сортувальної гірки відображає її конструкцію і служить інформаційною базою для побудови функціональної моделі, що забезпечує кероване скочування відцепів на колії сортувального парку. Модель включає дані про конструкцію плану гіркової горловини, а також про пристрої керування процесом скочування відцепів (стрілочні переводи, уповільнювачі гальмових позицій, пристрої збору інформації про параметри відцепів та про умови розпуску). Вказана модель дозволяє імітувати роботу уповільнювачів разом із системою керування, переведення розділових стрілок, роботу рейкових кід, контролювати нагін відцепів, їх зіткнення та проштовхування на сортувальних коліях. Модель гірки складається з трьох блоків: план, поздовжній профіль, уповільнювачі та гальмові позиції.

План колійного розвитку сортувальної гірки. Модель плану гіркової горловини сортувального парку [4] побудована на базі орієнтованого бінарного дерева $D = (V, E)$, де V – множина вершин, E – мно-

жина дуг. При цьому вершинам V відповідають розділові стрілки, а дугам – ділянки між ними. Множина дуг дерева E розділена на дві підмножини: ділянки E^S на спускній частині гірки та сортувальні колії E^W .

В свою чергу, кожна дуга $e_i \in E$ ділиться на елементи довжиною l_i таким чином, щоб межами елементів були:

- вершина сортувальної гірки;
- початок і кінець рейкового кола (РК) розділових стрілок і уповільнювачів;
- початок і кінець робочих довжин уповільнювачів;
- початок і кінець елементів, що мають додатковий опір руху (стрілки, глухе перетинання, криві будь-якого радіусу);
- початок і кінець сортувальних колій;
- граничні стовпчики у вихідній горловині сортувального парку.

В моделі гірки кожен елемент плану представлено структурою:

$$\mathbf{h} = \{l, w, \theta, I_c, \mu\} \quad (1)$$

де l – довжина, м; w – ідентифікатор опору руху; θ – тип елемента; I_c – індекс пристрою (розділової стрілки або уповільнювача) у списку керуючих елементів; μ – покажчик розміщення останньої осі відчепа.

Дані в заголовку кожної дуги залежать від типу секції. Ділянка між двома суміжними стрілочними позиціями спускної частини гірки має наступну структуру заголовка:

$$\Pi = \{PN, SK, d, SQ\}$$

Для сортувальної колії

$$\Pi = \{PN, SK, d, WM, C\}$$

де P, S, W – ідентифікатори покажчиків, відповідно, стрілочної позиції, стрілочного перевodu та сортувальної колії; N – номер стрілочної позиції, до якої належить даний стрілочний перевід; K, Q – номери стрілочних переводів, що обмежують секцію; d – положення стрілочного перевodu K , при якому подальший маршрут руху відчепа проходить через стрілку Q ; W – номер сортувальної колії; C – десятковий код сортувальної колії W .

В моделі гірки міститься інформація про кожну розділову стрілку, що використовується для контролю її поточного положення та імітації її переведення перед відцепом у разі необхідності.

Інформація про стрілочний перевід представлена структурою:

$$\mathbf{S} = \{C, I_n, I_p, P_c, \sigma\},$$

де C – інформація про поточний стан РК стрілки; I_n, I_p – індекси перших елементів відповідно лівої та правої секцій, суміжних з даною стрілкою, у загальному списку елементів плану гірки; P_c – номер стрілочної позиції до якої відноситься стрілка; σ – поточне положення стрілки ($\sigma = 0$ - вліво, $\sigma = 1$ - вправо).

Інформація про стан РК, у свою чергу, представлена структурою:

$$\mathbf{C} = \{t, \tau, b\},$$

де t – момент зайняття РК; τ – момент звільнення РК; b – кількість відчепів, що перебувають на РК ($b = 0, 1, 2$).

В кожний поточний момент часу змінні t і τ містять дані про останню подію, що відбулася на даному РК.

Номер стрілочної позиції P_c являє собою порядковий номер даної стрілки на шляху скочування відчепа ($P_c = 1, 2, \dots$). Цей номер використовується для визначення необхідного положення стрілки в маршруті на задану колію.

Окремі розділові стрілки S_j включають до загального списку по стрілочних позиціях, починаючи з першої. Порядкові номери стрілок j у даному списку включають як індекси I_r у відповідні елементи \mathbf{h} (1) плану гірки.

При моделюванні роботи стрілок враховується час реакції електричної схеми РК стрілок на зайняття ($t_{рз} = 0,15$ с) і звільнення ($t_{рзв} = 2,0$ с - з урахуванням уповільнення, що використовується для захисту від короткочасної втрати шунта) [5]. Зазначені величини також зберігаються в моделі гірки та використовуються для всіх стрілок гіркової горловини.

Дані про сортувальні колії необхідні для моделювання процесу їх заповнення вагонами під час розпуску составів. Інформація про кожну сортувальну колію представлена структурою

$$\mathbf{X} = \{C, S_{\text{вих}}^m, L_{\text{кор}}, S_{\text{прц}}, m_{\text{тр}}, z\}$$

де C - код колії; $S_{\text{вих}}^m$ – координата кінця паркової гальмової позиції; $L_{\text{кор}}$ – корисна довжина колії; $S_{\text{прц}}$ – координата точки прицілювання; $m_{\text{тр}}$ – число вагонів у составі на дану колію; z – номер останнього відчепа в составі, що направлено на дану колію.

З перерахованих параметрів тільки код колії C повинен бути заданий у вхідній інформації про гірку, інші дані заповнюються автоматично в процесі роботи програми.

Код кожної сортувальної колії C формується таким чином, щоб по ньому можна було визначити положення стрілок у маршруті на дану колію. Величини $S_{\text{вих}}^m$ та $L_{\text{кор}}$ визначаються автоматично за даними про тип елементів плану гірки, а координата $S_{\text{прц}}$ повинна бути задана у вихідних даних про відчеп.

Поздовжній профіль гірки. Для моделювання

скочування відчепів необхідно доповнити інформацію про план колійного розвитку гірки інформацією про її поздовжній профіль. Для представлення поздовжнього профілю гірки використовується його апроксимація модифікованим кубічним сплайном [6].

Для більш точного моделювання процесу скочування відчепів поздовжній профіль сортувальної гірки в імітаційній моделі представлений сукупністю параметрів профілю маршруту скочування на кожну сортувальну колію:

$$\mathbf{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$$

де P_i – профіль маршруту скочування на i -ту колію сортувального парку; n – кількість колій в сортувальному парку.

Слід відмітити, що при визначенні ухилів колій в межах стрілочної зони враховувався пилоподібний поперечний профіль земляного полотна сортувального парку. Профіль i -ї сортувальної колії в моделі гірки представлено наступною структурою:

$$\mathbf{P} = \{W_k, S_j, C_{2,j}, C_{\text{дв},j}, C_{4,j}\}, j = 1, \dots, n + 1$$

де W_k – ідентифікатор k -ї колії сортувального парку; S_j – координати вузлів сплайна; $C_{2,j}, C_{3,j}, C_{4,j}$ – коефіцієнти сплайна; $n_{\text{дв}}$ – число ділянок на колії скочування.

В процесі моделювання скочування відчепа вибір даних про поздовжній профіль маршруту руху здійснюється за номером колії призначення відчепа k .

Уповільнювачі та гальмові позиції. Керування швидкістю скочування відчепа на колію призначення сортувального парку здійснюється шляхом його гальмування в межах гальмових позицій, обладнаних вагонними уповільнювачами. В імітаційній моделі передбачена можливість керування кожним окремим уповільнювачем гальмової позиції (спускна частина гірки), або керування групою уповільнювачів (паркові гальмові позиції).

Інформація про уповільнювачі необхідна для розрахунку їх питомого гальмівного опору w_r , а також для моделювання управління гальмуванням. Дані про уповільнювачі гальмових позицій сортувального парку представлені наступною структурою:

$$\mathbf{R} = \{P_r, Pos, M[w_r], \sigma_w, \Delta t_s, \Delta t_p\},$$

де P_r – номер гальмової позиції, до якої відноситься уповільнювач; Pos – ознака розміщення уповільнювача в гальмовій позиції (1 – вихідний уповільнювач, 0 – інші); $M[w_r], \sigma_w$ – математичне очікування та середньоквадратичне відхилення питомого гальмівного опору уповільнювача відповідно. Згідно [7] для уповільнювачів типу КНП-5 $\sigma_w = 14,5$ м.ен.в., а для уповільнювачів типу РНЗ $\sigma_w = 40,0$ м.ен.в. $\Delta t_s, \Delta t_p$ – тривалість спрацювання уповільнювача при його загальмуванні та розгальмуванні відповідно [8].

Дані про гальмові позиції та уповільнювачі в імітаційній моделі представлені окремим файлом, що дозволяє змінювати тип і кількість уповільнювачів, варіювати їх параметри, що, в свою чергу, дає можливість виконати дослідження впливу характеристик уповільнювачів на процес регулювання швидкості скочування відчепа.

Модель відчепа, що скочується з сортувальної гірки. Модель окремого відчепа, що скочується з гірки, містить сукупність параметрів, необхідних для імітації регульованого скокування при прийнятому способі моделювання руху відчепа та моделі сортувальної гірки. В основу моделювання скокування покладена вагонно-осьова модель відчепа [9], яка може бути представлений наступною структурою:

$$C = \{X, A, B, W, \Psi\}$$

де X – вектор параметрів відчепа; A – осьова модель; B – дані про вагони; W – вектор параметрів для розрахунку питомих опорів руху; Ψ – вектор параметрів стану відчепа.

Сукупність параметрів X представлено структурою:

$$X = \{m, v, Q, l, \lambda, g'\}$$

де m – кількість вагонів; v – число осей; Q – вага, т; l – довжина, м; λ – передній виліт автозчепки першого вагона відчепа, м; g' – прискорення сили тяжіння з урахуванням інерції осей, що обертаються.

Осьова модель A призначена для характеристики положення кожної осі відчепа на спускній частині гірки.

Інформація про вагони відчепа B_j необхідна для розрахунку сил, що діють на відчеп

$$B_j = \{Q_{bj}, \gamma_j, v_{bj}, \rho_j\}, j = 1, \dots, m,$$

де Q_{bj} – вага, т; γ_j – тип вагона; v_{bj} – число осей; ρ_j – тип підшипників.

Дані для розрахунку питомих опорів руху відчепа представлені структурою

$$W = \{w_{0ck}K, \xi, w\},$$

де w_0 – основний питомий опір руху відчепа; K_{ck} – коефіцієнт, що використовується для розрахунку опору від стрілок і кривих та визначається на кожному кроці переміщення відчепа; ξ – параметри, необхідні для розрахунку опору середовища й вітру; w_r – питомий гальмівний опір від уповільнювачів.

Поточний стан відчепа, що скочується, характеризує структура Ψ :

$$\Psi = \{s, v, t, I_j, W, y, \sigma_{від}, N_{поп.від}, D_{вх}, D_{вих}\},$$

де s – координата першої осі, м; v – швидкість, м/с; t – час від моменту відриву, с; I_j – номер ділянки сплайна, на якому знаходиться перша вісь відчепа; W – порядковий номер колії призначення; y – код ділянки розташування відчепа; $\sigma_{від}$ – код стану відчепа; $N_{поп.від}$ – номер попереднього відчепа, що слідує на ту ж колію призначення; $D_{вх}, D_{вих}$ – дані, відповідно про зайняття й звільнення РК керуючих елементів (стрілок, уповільнювачів).

Код ділянки розташування відчепа y може приймати наступні значення: $y = 1$ – колія насуву; $y = 2$ – спускна частина; $y = 3$ – сортувальна колія. В залежності від значення y обирається алгоритм фіксації положення відчепа в моделі гірки та алгоритм контролю дистанції між суміжними відчепами.

Код $\sigma_{від}$ характеризує поточний стан відчепа і може приймати значення $\sigma_{від} \in [1, 6]$ (1-перебуває в составі, 2-скочується, 3-зупинився на даному кроці, 4-зупинився на попередніх кроках, 5-досяг точки прицілювання, 6-об'єднаний з попереднім відчепом у результаті нагону).

Моделювання процесу скокування відчепів на сортувальній гірці. Головною метою моделювання скокування відчепа є визначення його параметрів s, v, t на кроці Δt , а також визначення моментів подій, які можуть відбутися на даному кроці (зайняття та звільнення РК, нагін, зіткнення та ін.).

Переміщення відчепа на кроці Δt описується диференціальним рівнянням другого порядку виду [10]:

$$S'' = \frac{d^2 S}{dt^2} = g'(i - w_0 - w_{ck} - w_{cb} - w_r) \cdot 10^{-3} \quad (2)$$

при початкових умовах $S(T_j) = S_j$ й $S'(T_j) = V_j$, де g' – прискорення вільного падіння з урахуванням інерції частин вагона, що обертаються, м/с²; i – ухил ділянки профілю сортувальної гірки; w_0 – основний питомий опір руху відчепа, кгс/тс; w_{ck} – додатковий питомий опір руху, що виникає при проходженні стрілок і кривих, кгс/тс; w_{cb} – додатковий питомий опір руху від навколишнього середовища, кгс/тс; w_r – додатковий питомий опір руху, що виникає при гальмуванні відчепа в уповільнювачі, кгс/тс.

Для вирішення рівняння (2) використовується метод Рунге-Кутта четвертого порядку [10], що дозволяє знайти значення координати відчепа S_{j+1} і його швидкості V_{j+1} у момент $T_{j+1} = T_j + \Delta t$.

Слід відмітити, що для забезпечення безперервної дії сил на відчеп, що скочується, при інтегруванні постійний інтервал Δt може коригуватись. Така необхідність може виникати, коли відчеп проходить через контрольні точки плану гірки (стрілки, уповільнювачі та ін.), при цьому відстань, яку проходить відчеп за час Δt ділиться на k шагів $\Delta S(\Delta t) = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_k$. На кроках $\Delta S_1, \dots, \Delta S_k$ переміщення відчепа моделюється за допомогою диференційного рівняння, в якому незалежною змінною є відстань.

Миттєве значення ухилу, яким рухається центр тяжіння відчепа, коли його перша вісь знаходиться в точці S визначається як

$$i(S) = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^m \left(\frac{Q_{bj}}{v_{bj}} \sum_{k \in v_{bj}} (S - e_k) \right),$$

де Q – маса відчепа; Q_{bj}, v_{bj} – відповідно, маса та кількість осей j -го вагона відчепа; S – координата першої осі відчепа; e_k – відстань до першої осі відчепа.

При скокуванні відчепа від вершини гірки до точки прицілювання на колії сортувального парку на нього діють сили опору (2), які мають випадковий характер, а саме основний опір, опір стрілок та кривих, а також опір середовища і вітру.

При імітаційному моделюванні процесу розформування составів окреме випадкове значення основного питомого опору руху одиночного вагона визначається за формулою [11]

$$w_0 = -\frac{1}{b} \ln \left(\prod_{i=1}^a R_i \right),$$

де a, b – параметри гамма-функції розподілення випадкової величини, що залежать від вагової категорії відчепа; R_i – випадкові числа, що рівномірно розподілені в інтервалі (0; 1).

Опір від стрілочних переводів та кривих, що виникає через тертя коліс о рейки при вписуванні в криві, удари о гостряки та в хрестовинах стрілочних переводів і визначається за формулою

$$w_{ск} = K_{ск} v^2,$$

де $K_{ск}$ – середньозважений коефіцієнт опору від стрілок і кривих.

Величина $K_{ск}$ визначається на кожному кроці переміщення відчепа як середнє значення для всіх його осей. Для розрахунку $K_{ск}$ в моделі гірки міститься інформація про розміщення та параметри стрілочних переводів, а також про криві на насувній та спускній частині гірки і на сортувальних коліях.

Миттєве значення питомого опору від середовища та вітру в моделі визначається за формулою [11]

$$w_{св} = K_{св} v_{від}^2,$$

де $v_{від}$ – відносна швидкість відчепа з урахуванням напрямку вітру, м/с; $K_{св}$ – приведений коефіцієнт повітряного опору, що залежить від параметрів вагонів відчепа, а також від температури навколишнього середовища.

Модуль керування роботою уповільнювачів гальмових позицій. Основним виконавчим органом регулювання швидкості скочування відчепа є уповільнювачі гальмових позицій гірки, керування роботою яких виконується відповідним автономним блоком, що безпосередньо взаємодіє з модулем керування розпуском. Задачею такого блоку є реалізація заданої швидкості виходу відчепа з гальмових позицій гірки незалежно від прийнятого алгоритму регулювання.

Керування роботою уповільнювачів гальмових позицій здійснюється на основі інформації, що надходить з модуля системи керування розпуском, і може бути представлена наступною структурою:

$$U = \{U_{ф}, U_{р}, t_{вх\text{ рк}}, t_{вих\text{ рк}}, \psi_{рк}, N_{п}\},$$

де $U_{ф}$ – фактична швидкість руху відчепа; $U_{р}$ – розрахункова швидкість виходу відчепа з гальмової позиції; $t_{вх\text{ рк}}, t_{вих\text{ рк}}$ – відповідно, моменти зайняття та звільнення рейкового кола уповільнювача відчепом; $\psi_{рк}$ – стан рейкового кола уповільнювача (1 - вільне, 0 - зайняте). $N_{п}$ – момент чергової зміни гальмівного опору $W_{г}$ (початок або кінець гальмування);

Імітація роботи модуля керування уповільнювачами гальмових позицій здійснюється за допомогою керуючих параметрів, які представлені наступною структурою

$$D = \{\delta V_{вгп}, \delta V_{сгп}, L_{г\text{ min}}, dV\},$$

де $\delta V_{вгп}, \delta V_{сгп}$ – упередження, що враховує інерційність уповільнювачів ВГП та СГП відповідно; $L_{г\text{ min}}$ – мінімальна довжина ефектвної зони гальмування; dV – обмеження, що характеризує допустиме перевищення фактичної швидкості відчепа над заданою швидкістю виходу з ГП.

Вказані параметри керування уповільнювачами задаються до початку скочування окремого відчепа. Таким чином, на основі отриманої інформації модуль керування уповільнювачами гальмових позицій формує відповідні керуючі команди при проходженні відчепом зони гальмової позиції. При цьому, в процесі формування команд керування використовуються дані про уповільнювачі, що були описані раніше.

Висновки

Таким чином запропонований принцип побудови структурно-параметричної моделі дозволяє достатньо повно представити план та поздовжній профіль колійного розвитку гіркової горловини і використовувати його при моделюванні процесу розпуску составів. Розроблена імітаційна модель може бути використана при вирішенні широкого кола задач дослідження та оцінки процесу розформування составів на сортувальних гірках.

Список літератури: 1. Prokop, J. Simulation of Hump Performance in Railroad Classification Yard [Text] / J. Prokop, Sh. Myojin // Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University. – 1993. – Vol. 1. 27. – No. 2. – P. 59–71. 2. Kavicka, A. Simulation model of marshalling yard Linz Vbf (Austria) [Text] / A. Kavicka, V. Klima, A. Niederkofler, M. Zato // Proceedings of The international workshop on Harbour, Maritime & Logistics Modelling and Simulation. – Genoa: SCS, 1999. – P. 317–320. 3. Bobrovskiy, V. I. Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata [Text] / V. I. Bobrovskiy, D. N. Kozachenko, R. V. Vernigora // Transport Problems. – Gliwice, 2014. – Vol. 9. – Issue 3. – P. 57–65. 4. Козаченко, Д. М. Модель колійного розвитку для імітаційного моделювання гіркових процесів [Текст] / Д. М. Козаченко // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Вип. 29 – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. унт-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2009. – С. 53–57. 5. Сагайтис, В. С. Устройства механизированных и автоматизированных сортировочных горок: Справочник. / В. С. Сагайтис, В. Н. Соколов. – М.: Транспорт, 1988. – 208 с. 6. Бобровский, В. И. Представление продольного профиля сортировочных горок в АСУ расформированием составов [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – № 1,2. – С. 19–25. 7. Бледный, А. М. Технично-эксплуатационные характеристики клещевидно-подъемного вагонного замедлителя типа КНП [Текст] / А. М. Бледный, Н. П. Божко, А. А. Егоров, Ю. А. Муха, В. З. Яневич // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. науч. тр. / – Днепропетровск: ДИИТ, 1981. – Вып. 216/14. – С. 3–15. 8. Божко, Н. П. Динамические тормозные характеристики весовых и нажимных вагонных замедлителей [Текст] / Н. П. Божко // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях: Межвуз. сб. научн. тр. – Вып. 197/12. – Днепропетровск: ДИИТ, 1978. – С. 87–100. 9. Козаченко, Д. М. Моделирование скочування відчепа як динамічної системи взаємопов'язаних вагонів [Текст] / Д. М. Козаченко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту української державної академії залізничного транспорту. – Вип. 20 – Вид-во ДонІЗТ. – 2009. – С. 5–15. 10. Бобровский, В. И. Дифференциальные уравнения движения отцепа и методы их решения [Текст] / В. И. Бобровский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. – 1996. – №6. – С. 34–39. 11. Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах Союза ССР. ВСН 207–89. – М.: Транспорт. – 1992. – 104 с.

- Bibliography (transliterated):** 1. Prokop, J., Myojin, Sh. (1993). Simulation of Hump Performance in Railroad Classification Yard. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Okayama University*, 27, 2, 59–71. 2. Kavicka, A., Klima, V., Niederkofler, A., Zatko, M. (1999). Simulation model of marshalling yard Linz Vbf (Austria) *Proceedings of The international workshop on Harbour, Maritime & Logistics Modelling and Simulation*, SCS, Genoa, Italy, 317–320. 3. Bobrovskiy, V. I., Kozachenko, D. N., Vernigora, R. V. (2014). Functional simulation of railway stations on the basis of finite-state automata. *Transport Problems*, Gliwice, 9, 3, 57–65. 4. Kozachenko, D. (2009). Model kolinoho rozvytku dlia imitatsiinoho modeliuвання hirkovykh protsesiv. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana*, 29, 53–57. 5. Sagaytis V. S., Sokolov V. N. (1988). *Ustroystva mekhanizirovannykh i avtomatizirovannykh sortirovochnykh gorok*; Spravochnik. Moscow, Transport Publ., 208. 6. Bobrovskiy, V. (1996). Predstavlenie prodolnogo profilya sortirovochnykh gorok v ASU rasformirovaniem sostavov. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy na zhelezodorozhnom transporte*, 1,2, 19–25. 7. Blednyy, A., Bozhko, N., Yegorov, A., Mukha, Y., Yanevich, V. (1981). Tekhniko-eksploatatsionnye kharakteristiki kleshchevidno-podemnogo vagonnogo zamedlitya tipa KNP. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sortirovochnogo protsessa na stantsiyakh : mezhvuz. sb. nauchn. tr.*, 216/14, 3–15. 8. Bozhko, N. (1978). Dinamicheskie tormoznye kharakteristiki vesovykh i nazhimnykh vagonnykh zamedlitley. *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya sortirovochnogo protsessa na stantsiyakh: mezhvuz. sb. nauchn. tr.*, 197/12, 87–100. 9. Kozachenko, D. (2009). Modeliuвання skochuvannya vidchepa yak dynamichnoi systemy vzaiemopoviazanykh vahoniv. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu Ukrainskoi derzhavnoi akademii zaliznychnoho transportu*, 20, 5–15. 10. Bobrovskiy, V. (1996). *Differentsialnye uravneniya dvizheniya ottsepa i metody ikh resheniya*. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy na zhelezodorozhnom transporte*, 6, 34–39. 11. *Pravila i normy proektirovaniya sortirovochnykh ustroystv na zheleznykh dorogakh soyuza SSR*. VSN 207 – 89 (1992), Moscow, Transport Publ., 104.

Надійшла (received) 17.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бобровський Володимир Ілліч – доктор технічних наук, професор, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, професор кафедри «Станції та вузли»; вул. Ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010; тел.: 068-444-63-95; e-mail: bvi1973@yandex.ua.

Бобровский Владимир Ильич – доктор технических наук, профессор, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, профессор кафедры «Станции и узлы»; ул. Ак. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010; тел.: 068-444-63-95; e-mail: bvi1973@yandex.ua.

Bobrovskiy Volodymyr – doctor of technical science, professor, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan; Lazaryan str. 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine; tel.: 068-444-63-95; e-mail: bvi1973@yandex.ua.

Дорош Андрій Сергійович – асистент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, асистент кафедри «Станції та вузли»; вул. Ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010; тел.: 066-927-84-62; e-mail: dorosh_as@mail.ru.

Дорош Андрей Сергеевич – ассистент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ассистент кафедры «Станции и узлы»; ул. Ак. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010; тел.: 066-927-84-62; e-mail: dorosh_as@mail.ru.

Dorosh Andrii – assistant lecturer, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan; Lazaryan str. 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine; tel. 066-927-84-62; e-mail: dorosh_as@mail.ru.

Демченко Євген Борисович – асистент, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, асистент кафедри «Станції та вузли»; вул. Ак. Лазаряна, 2, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010; тел.: 097-799-16-75; e-mail: eugene_demchenko@mail.ru.

Демченко Евгений Борисович – ассистент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ассистент кафедры «Станции и узлы»; ул. Ак. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск, Украина, 49010; тел.: 097-799-16-75; e-mail: eugene_demchenko@mail.ru.

Demchenko Evhen – assistant lecturer, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan; Lazaryan str. 2, 49010, Dnipropetrovsk, Ukraine; tel. 097-799-16-75; e-mail: eugene_demchenko@mail.ru.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОБЛАДНАННЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК 621.9.02

В. А. НЕДОБОЙ

ШПИНДЕЛЬНИЙ ВУЗОЛ З ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМ ЗАТИСКНИМ МЕХАНІЗМОМ

В роботі представлений мотор-шпиндель з електромеханічним затискним механізмом зібраний на основі модульного принципу на базі мотор-шпинделя. Дані його параметри та основні технічні характеристики. Представлена можливість використання мотор-шпинделя у двох варіантах: з використанням без модуля з електромагнітною муфтою та з модулем – для розмикання моменту на затискний механізм. Також показані його основні складові вузли та їх компоновка та елементи управління мотор-шпинделем і приводом затиску. Розглянута структурна схема мотор-шпинделя для обох варіантів. Дані рекомендації по майбутніх експериментальних дослідженнях.

Ключові слова: мотор-шпиндель, електромеханічний затискний механізм, привод затиску, модульний принцип, затискний патрон

Вступ. При обробці матеріалів різанням дуже важливу роль відіграє кожен вузол верстата, який впливає на його техніко-економічні показники.

Одним із таких вузлів верстата є шпиндельний вузол (ШВ), до якого пред'являються особливо високі вимоги. Від точності і жорсткості ШВ залежить точність і продуктивність обробки деталей. Також суттєвий вплив на точність і продуктивність обробки має механізм затиску інструменту, а при переривчастому різанні фрезами залежить якість обробленої поверхні, а саме шорсткість та точність обробки по формі (непаралельність, некруглість і т. п.).

Переважає більшість ШВ має ручний затиск інструменту в цангових патронах, або механізований, з використанням гідро (пневмо) приводу затиску, що потребує додаткове обладнання і контрольно-регулюючу апаратуру. Також поширеним є застосування інструментальних затискних патронів з оправками типу SK та HSK, що є досить надійним варіантом, але також потребує використання перехідних елементів та використання додаткової апаратури для затиску інструмента.

Раніше в своїх роботах науковці розглядали принципи створення та дослідження інструментальних затискних патронів та систем затиску типу SK та HSK [1–4].

Відомі світові виробники також всі свої дослідження зводять до дослідження та удосконалення вище представлених систем затиску та їх приводів [5].

Мета роботи – створення з використанням генетико-морфологічного підходу, розробка технічної документації, виготовлення та попередній аналіз працездатності ШВ гібридної компоновки на модульному принципі на базі мотор-шпинделя

Об'єктом дослідження є мотор-шпиндель з електромеханічним ЗМ.

Мотор-шпиндель складений на основі модульного принципу, з набору спеціально виготовлених готових взаємозамінних модулів. Модулі є уніфікованими і тому при виході з ладу одного із них не виникає ніяких проблем в заміні. На рис. 1, а представлена схема де система складається з модулів: М1 – корпус мотор-шпинделя; М2 – привод затиску; М3 – модуль затискного патрону. На рис. 1, б представлена схема де система складається з тих самих модулів М1, М2, М3, а також додаткового модуля з електромагнітною муфтою – М4 [6].



Рис. 1 – Схема розміщення модулів в мотор-шпинделі: а – мотор-шпиндель без додаткового; б – мотор-шпиндель з модулем М4

На рис. 2 представлена конструктивна схема діючого мотор-шпинделя з електромеханічним затискним механізмом та змінним модулем з електромагнітною муфтою М4, для розмикання приладу затиску при роботі шпинделя.

Також даний мотор-шпинделя може бути використаний без модуля М4 з муфтою (рис. 3), тоді його довжина скоротиться з 500 до 432 мм, але при цьому максимальні оберти шпинделя обмежені максимальними обертами приводу затиску, що становлять 3000-3500 об/хв [7].

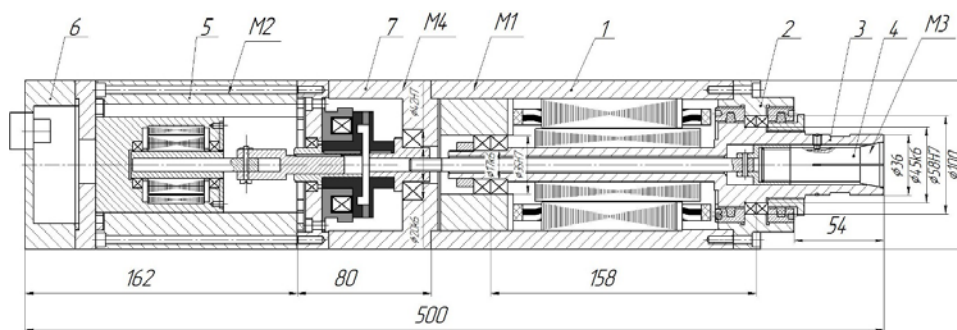


Рис. 2 – Мотор-шпиндель з електромеханічним ЗМ та змінним модулем М4

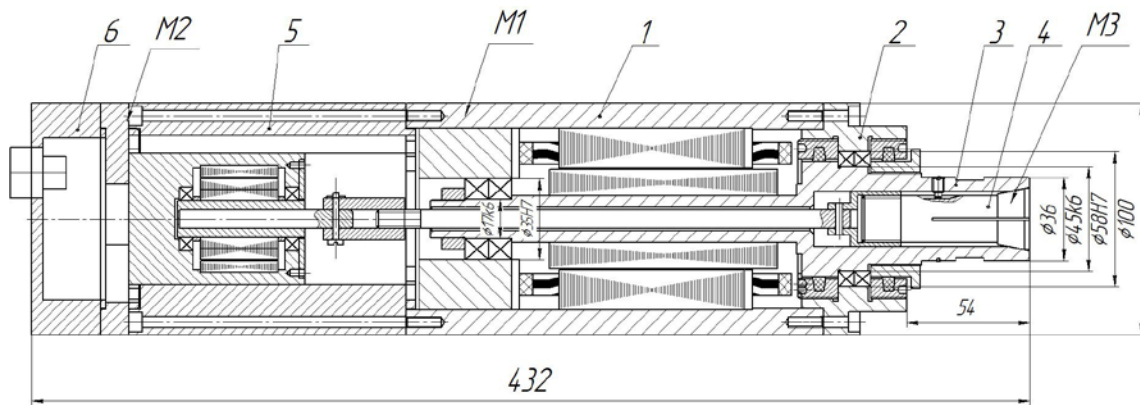


Рис. 3 – Мотор-шпиндель з електромеханічним ЗМ

Мотор-шпиндель складається з таких основних елементів: корпус мотор-шпинделя 1, передній фланець з підшипниками 2, шпиндель 3, цанговий патрон 4, привод затиску (ПрЗ) 5, кришка 6 з елементами живлення та змінний модуль 7 з електромагнітною муфтою.

На рис. 4 представлена 3-х вимірна модель створеного мотор-шпинделя.

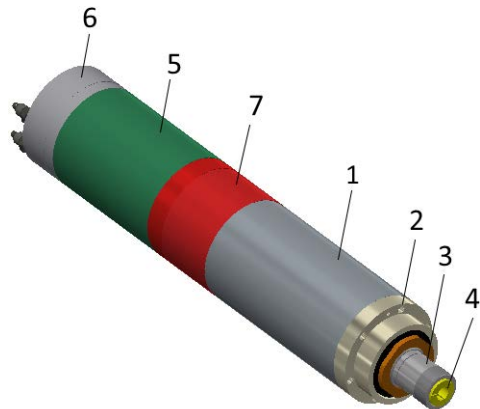


Рис. 4 – Тривимірна модель мотор-шпинделя з електромеханічним ЗМ

Корпус мотор-шпинделя 1 (рис. 5) представляє собою стандартний модуль (M1), з розміщеним всередині статором та посадковим місцем для задніх підшипників шпинделя.

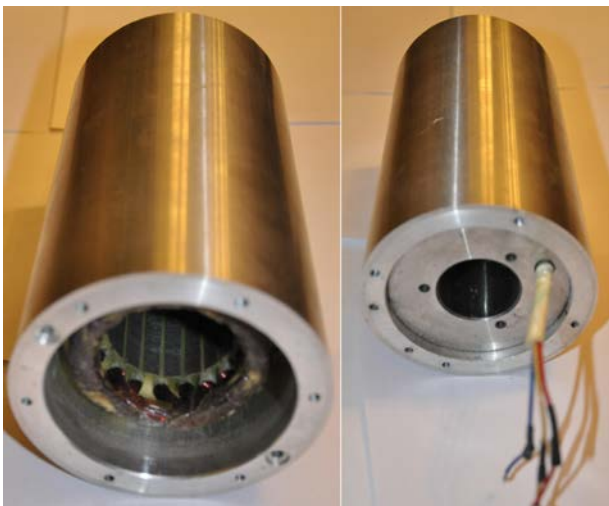


Рис. 5 – Корпус мотор-шпинделя

Шпиндель являє собою вал, спеціально спроектований для розташування в середині нього осового затискного механізму (рис. 6)

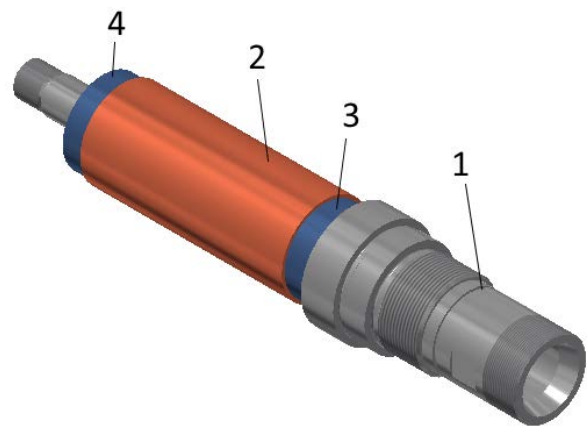


Рис. 6 – Шпиндель-ротор

На шпинделі 1 розміщений ротор 2 та кільця 3 та 4 для балансування системи на спеціальному балансувальному стенді. Балансування проводиться шляхом висвердлення в кільцях 3 та 4 отворів і подальшого розкручування шпинделя на стенді. Ротор на шпиндель посаджений за допомогою гарячої посадки та перехідної втулки для можливості зняття ротора за потреби.

Механізм затиску (рис. 7) являє собою гвинтову пару, з жорстко прикріпленою до неї цангою з однієї сторони і електромеханічного привода затиску з іншої сторони.

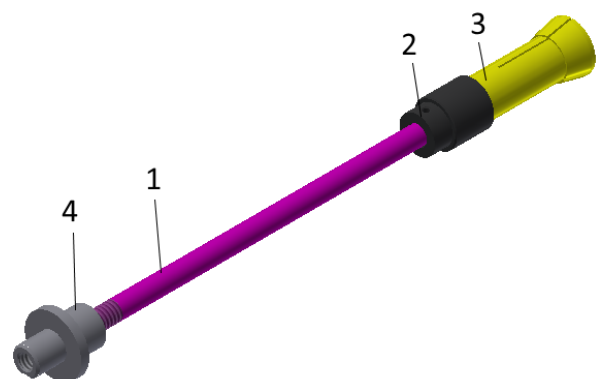


Рис. 7 – Затискний механізм

Гвинт 1 жорстко пов'язаний з гайкою цанги 2, яка в свою чергу зв'язана різьбовим з'єднанням з цангою 3, з можливістю стопоріння. З іншого боку гвинт зв'язаний різьбою з гайкою 4, яка жорстко з'єднується з приводом затиску. Різьба на гвинті та гайці використовується упорна з кутом нахилу профілю 3° , що при роботі шпинделя виключає розгвинчування пари, внаслідок самогальмування.

Змінний модуль з електромагнітною муфтою представлений на рис. 8.

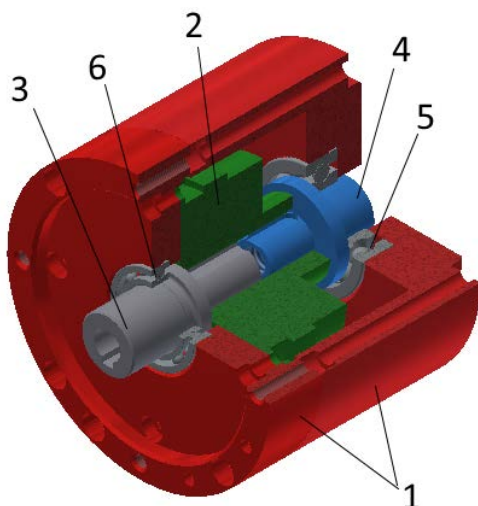


Рис. 8 – Розріз модуля з електромагнітною муфтою

Модуль складається з розбірного корпусу 1, самої електромагнітної муфти 2 (рис. 9), вала 3, для з'єднання з приводом та вала-гайки 4 для з'єднання з гвинтом з механізму затиску. В якості приводу можна використовувати кроковий двигун або високомоментний двигун. В нашому випадку використаний кроковий двигун.



Рис. 9 – Електромагнітна муфта

Для забезпечення високих обертів в корпусі модуля встановлюються радіальні підшипники з відповідними частотами обертання. Підшипник 5 має частоту до 28000 об/хв, оскільки зв'язаний з гвинтом

затискного механізму, який обертається зі шпинделем до 25000 об/хв. Підшипник 6 частоту до 5000 об/хв, оскільки зв'язаний з приводом затиску, що обертається до 3000-3500 об/хв.

В задній кришці 6 (рис. 4) розміщені приєднувальні елементи мотор-шпинделя (рис. 10) та конектори для живлення елементів, які потрібні для роботи системи.

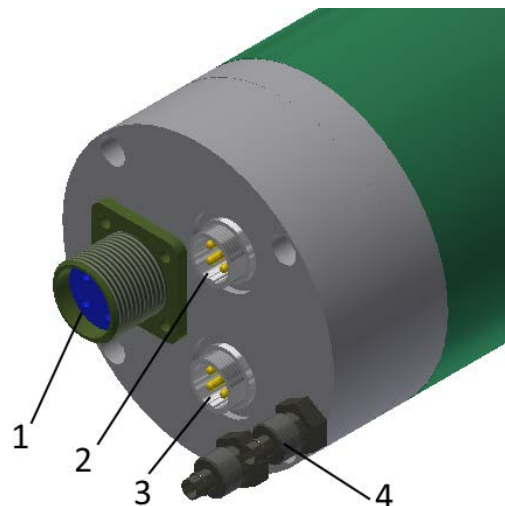


Рис. 10 – Приєднувальні елементи мотор-шпинделя

Роз'єм 1 призначений для підключення шпинделя до системи керування – інвертора (рис. 11), за допомогою якого встановлюються режими роботи шпинделя, а також регулюється частота обертів. До роз'єму 2 приєднується система керування приводом затиску (рис. 12). До роз'єму 3 підключаються елементи керування електромагнітною муфтою. Виходи 4 призначені для підведення охолодження до шпинделя.



Рис. 11 – Інвертор для керування шпинделем

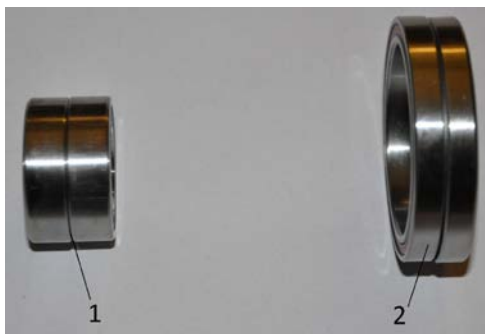
На рис. 12 представлено контролер для керування ПрЗ. Підключається контролер через інтерфейсну плату до ПК, де за допомогою спеціального програмного забезпечення відбувається керування ПрЗ. Також можливе керування і без ПК, за допомогою підключення до інтерфейсної плати пульта керування або потенціометра.



Рис. 12 – Контролер для керування Пр3

Шпиндель встановлено на високошвидкісних, високоточних шарикопідшипниках (рис. 13, а). В передній опорі радіально-упорні підшипники у виконанні дуплекс тандем, в задній два радіальних підшипника. Мотор-шпиндель має водяне охолодження, оскільки не має можливості розміщення вентилятора за задньою опорою, де розміщений привод затиску.

В даному шпинделі використовуються цанги Schaublin W20-80-4 (рис. 13, б), з можливим затиском інструмента з хвостовиком від 0,5 до 16 мм.



а



б

Рис. 13 – Стандартні деталі: а – шарикопідшипники шпинделя: 1 – задня опора; 2 – передня б – цанги Schaublin W20-80-4: 1 - Ø13 мм; 2 – Ø0,5 мм

Кінець шпинделя розроблявся відповідно до рекомендацій наданих фірмою Schaublin для використання даних цанг. У випадку, якщо шпиндель довго працює з одним інструментом, на передній кінець навинчується гайка, яка підтискає цангу.

На рис. 14 представлена структурна схема мотор-шпинделя з електромеханічним ЗМ, де: ДЕ – джерело енергії з напругою U_1 ; СУ – система управління Пр3 – приводом затиску (електродвигун кроковий) з моментом на валу M_0 ; ЕМ – електромагнітна муфта для розмокання моменту, що отримує від СУ напругу U_M і передає момент M_3 на ЗМ – затискний механізм, що розміщений в середині МШ – мотор-шпинделя, ЗМ – передає тягове зусилля F_a на ЗП – затискний патрон, який є цанговий і затискає ОЗ – об’єкт затиску з силою F_r . МШ – керується за допомогою СУМШ – система управління мотор шпинделем, який обертається з моментом $M_{ш}$ [8].

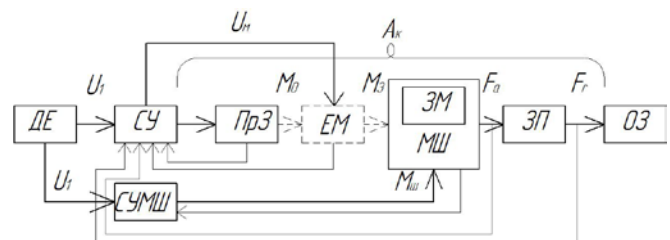


Рис. 14 – Структурна схема мотор-шпинделя з електромеханічним ЗМ

З даної схеми видно, що мотор-шпиндель є гібридом механічної та електромеханічної системи.

Для перевірки працездатності ШВ із ЗМ потрібно провести експериментальні дослідження по визначенню силових та жорсткісних характеристиках механізми затиску при різних режимах затиску [9, 10], а також провести експериментальне тарування затискного механізму, як для керування з ПК, так і для – потенціометра.

Висновки. Даний шпиндельний вузол має покращену конструкцію, в порівнянні з існуючими аналогами. Це зумовлено тим, що з ним не потрібно використовувати додаткової громіздкої апаратури для затиску, а його складання на модульному принципі дає змогу замінити або додавати до його структури додаткові вузли. Роз’яснення по силовим потокам дає змогу краще зрозуміти принцип роботи даного мотор-шпинделя.

Список літератури: 1. Вейц, В. Л. Электромеханические зажимные устройства станков и станочных линий. Расчет и конструирование [Текст] / В. Л. Вейц, Л. И. Фридман. – Л.: Машиностроение, 1973. – 262 с.

[Текст]

3. Кузнецов, Ю. Н. Зажимные механизмы для высокопроизводительной и высокоточной обработки резанием: Монография [Текст] / Ю. Н. Кузнецов, В. Н. Волошин, П. М. Неделчева, Ф. В. Эль-Дахаби; Под ред. Ю. Н. Кузнецова. – Габрово: Ун. изд-во «Васил Априлов», 2010. – 724 с. 4. Данильченко, Ю. М. Прецизійні шпиндельні вузли на опорах кочення (теорія і практика): Монографія [Текст] / Ю. М. Данильченко, Ю. М. Кузнецов. - Тернопіль – Київ: Економічна думка, 2003. – 344 с. 5. Патент США №4423880 МПК В23В31/20, В23В31/204. Гідравлічний патрон [Текст] / Войцех Космовскі 6.

Кузнєцов, Ю. М. Использование модульного принципа при сборке шпиндельных узлов станков на базе мотор-шпинделей [Текст] / Ю. М. Кузнєцов, В. А. Недобой, Ж. Г. Хамуєла // ТiAM. – 2014. – №2. – С. 13–16. **7.** Патент України №91163, МПК В23В 19/00. Шпиндельный узел верстата [Текст] / Кузнєцов Ю. М., Недобой В. А., Хамуєла Ж. А.; заявл. 09.01.2014; опубл.25.06.2014; Бюл.№12. **8.** Кузнєцов, Ю. М. Експериментальні дослідження високошвидкісного інструментального затискного патрону з пружним елементом затиску [Текст] / Ю. М. Кузнєцов, Б. І. Придальний // СТПК2015. – 2015. – №1. – С. 42–45. **9.** Експериментальні дослідження високошвидкісного інструментального затискного патрону з пружним елементом затиску [Текст] / Ю. М. Кузнєцов, В. Б. Фіранський, О. В. Грисяк, В. Н. Волошин // Вісник ХНТУСГ. – 2008. – №45. – С. 294–299. **10.** Кузнєцов, Ю. Н. Расчет и экспериментальные исследования силовых характеристик высокоскоростного инструментального зажимного патрона [Текст] / Ю. Н. Кузнєцов, В. А. Недобой, Геппа Ж. А. Хамуєла / International Scientific Conference "UNITECH '13" – Gabrovo, 2013. – С. 45–55.

Bibliography (transliterated): **1.** Weitz, V. Friedman, L. (1973). Electromechanical clamping devices of machine tools and machining lines. Calculation and design. Saint Petersburg: Engineering, 262. **2.**

Kuznetsov, Y., Voloshin, V., Firansky, V., Gumenyuk, O. (2012). Tool chucks: Monograph. Kyiv. Ltd. "Gnosis", 286. **3.** Kuznetsov, Y., Voloshin, V., Nedelcheva, P., Dahabi, F. (2010). Clamping mechanism for high-performance and high-precision machining: Monograph. Gabrovo, Bulgaria: Un. Publishing House "Vasil Aprilov", 724. **4.** Danilchenko, Y., Kuznetsov, Y. (2003). Precision Spindle units for rolling resistance (theory and practice): Monograph. Ternopil – Kyiv: Economic thought, 344. **5.** Kosmowski, B. US Patent №4423880. The hydraulic chuck. B23B31 / 20, B23B31 / 204, publ. 01.03.1984. **6.** Kuznetsov, Y., Nedoboi, V., Hamuyela, H. (2014). Use the modular principle in the assembly spindle of machines tools based on the motor-spindles. Poland, TіAM, 13–16. **7.** Kuznetsov, Y., Nedoboi, V., Hamuyela, G. (2014). UA Patent №91163, B 23 B 19/00. Machine tool spindle unit. publ.25.06.2014; Byul.№12. **8.** Kuznetsov, Y., Prydalnyy, B. (2015). The analysis process dot gain clip-body rotation clamping mechanism with electromechanical drive. STPK2015, 42–45. **9.** Kuznetsov, Y., Firansky, V., Hrysyuk, A., Voloshin, V. (2008). Experimental study of high-speed tool clamping chuck with an elastic clamping element. KNTUA, №45, 294–299. **10.** Kuznetsov, Y., Nedoboi, V. (2013). Calculation and Experimental Studies of power characteristics high-speed tool chuck. International Scientific Conference "UNITECH '13". Bulgaria, 45–55.

Надійшла (received) 02.11.2015

Відомості про авторів/Сведения об авторах/About the Authors

Недобой Вадим Анатолійович – аспірант кафедри конструювання верстатів та машин, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056;

Недобой Вадим Анатольевич – аспірант кафедри конструювання станків и машин, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", пр. Победы, 37, г. Киев, Украина., 03056, тел. 063-138-06-89, email: vadim_kpi@mail.ru.

Nedoboi Vadym – graduate student of chair of machine tools and machinery system, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", pr. Peremogy, 37, m. Kyiv, Ukraine, 03056

УДК 658.516.3:664.8.037.5

Д. Н. ОДАРЧЕНКО

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ОБРАТИМЫХ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

В данной статье разработана технология производства обратимых замороженных полуфабрикатов жидких и твердых фаз дикорастущих ягод, культивируемых грибов, томатных овощей (томаты и перец сладкий), курицы (бройлеры) и рыбы (караси серебряные), исследованы их функционально-технологические свойства (ФТС). Данная технология предусматривает получение двух фаз из пищевого сырья путём двукратного цикла замораживания-центрифугирования. На основании проведённых исследований предложены пути использования разработанных полуфабрикатов при производстве различных групп пищевых продуктов.

Ключевые слова: обратимые полуфабрикаты, функционально-технологические свойства, технология производства, жидкие и твёрдые фазы.

Введение. Проблема рационального использования сырьевых ресурсов и производства качественных пищевых продуктов является одной из основных задач, от решения которой зависит обеспечение населения необходимыми и полезными продуктами. Не последнее место среди них занимают продукты переработки овощей, ягод и грибов, которые благодаря своим питательным свойствам составляют часть сырьевой базы перерабатывающей промышленности. Эта ситуация должна побудить наших производителей к поиску новых видов сырья и продукции из нее с целью расширения ассортимента традиционной продукции. Это может дать определенные конкурентные преимущества, так как во всем цивилизованном мире растет спрос на натуральную продукцию без искусственных красителей, витаминов и т.д. [1,2].

В связи с этим особое значение приобретает знание функционально-технологических свойств (ФТС) различных видов основного сырья и его компонентов,

понимание роли вспомогательных материалов и характера изменения ФТС под влиянием операций технологической обработки. Под функционально-технологическими свойствами понимают совокупность показателей, характеризующих сенсорные характеристики (цвет, вкус, запах), структурно-механические свойства (прочность и т.д.), величину выхода и потерь при термической обработке различных видов сырья и тому подобное. Такая трактовка понятия ФТС не является абсолютным, однако не исключается приоритетное значение перечисленных показателей при определении степени целесообразности использования замороженных полуфабрикатов для производства пищевых продуктов. То есть под ФТС подразумевают совокупность таких показателей, которые имеют приоритетное значение при производстве пищевых продуктов [3].

© Д. Н. Одарченко. 2015

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Теоретические и практические аспекты получения замороженных полуфабрикатов, способы повышения их качества, а также формирования их свойств были освещены в работах таких учёных как: Р. Ю. Павлюк, А. И. Черевко, Н. И. Ткач, З. Р. Сайфулина, Н. В. Диб-ровской, О. Г. Бурдо, Д. Поттера, Д. Кука и др. [4-7].

Цели и задачи исследования. Целью исследования является научное обоснование технологий производства новых обратимых полуфабрикатов из жидкой и твёрдой фаз.

Для достижения поставленной цели не обходимо решить следующие задачи: разработать технологические схемы производства обратимых замороженных полуфабрикатов твердых и жидких частей на основе предложенного способа разделения сырья на фазы; определить их функционально-технологические свойства; разработать и усовершенствовать технологии производства замороженных полуфабрикатов и пищевых продуктов на их основе.

Обоснование технологии производства замороженных обратимых полуфабрикатов. Фазовое равновесие является устойчивым термодинамическим сосуществованием двух или нескольких фаз. Однако вопрос о приближении к полной обратимости физико-химических свойств замороженных пищевых продуктов, сохранении их физиологической и технологической функциональности остается не решенным [8].

Объектами исследования стали дикорастущие ягоды (калина обыкновенная и клюква крупноплодная), томатные овощи (томаты и перец сладкий), культивируемые грибы (вешенка обыкновенная), продукция птицеводства (бройлеры), продукция рыболовства (караси серебряные).

Основываясь на концепции о получении обратимых фаз продукта была предложена принципиальная схема получения замороженных полуфабрикатов (продуктов разделения исследуемых объектов на фазы). Она заключается в следующих этапах: подготовка сырья, измельчение механическим способом, отделение жидкой и твердой фаз путем 2-х циклов замораживания-центрифугирования, после чего полученные фракции отдельно замораживали до $t = -18 \pm 2^\circ \text{C}$, упаковывали в полимерную упаковку, проводили маркировку и направляли на хранение при температуре $-18 \pm 2^\circ \text{C}$ [9].

Таким образом, принципиальная схема получения замороженных продуктов переработки ягод, овощей, мяса и рыбопродуктов позволяет получить однородную жидкую фазу и жмых, которые не разделяются на фазы со временем и при размораживании. Полученные полуфабрикаты обладают новыми функционально-технологическими свойствами и потребительскими характеристиками. Кроме того, предлагаемый прием позволяет использовать сырье в полном объеме и увеличить сырьевую базу для предприятий пищевой промышленности практически вдвое.

Практические аспекты применения разработанных обратимых полуфабрикатов. Для обоснования путей применения замороженных полуфабрикатов жидкой и твердой фаз проводили исследование их функционально-технологических свойств.

С целью конкретизации и количественного определения функционально-технологических свойств полученной ягодной жидкой фазы, которые обосновывают возможность ее применения в производстве продуктов питания, были изучены ее цветовые характеристики (рис. 1), где: 1 – водный раствор сока клюквы крупноплодной; 2 – водный раствор сока калины обыкновенной; 3 – водный раствор жидкой фазы клюквы крупноплодной после двукратного цикла замораживания-размораживания-центрифугирования; 4 – водный раствор жидкой фазы клюквы крупноплодной после двукратного цикла замораживания-размораживания-центрифугирования и термической обработки; 5 – водный раствор жидкой фазы калины обыкновенной после двукратного цикла замораживания-размораживания-центрифугирования; 6 – водный раствор жидкой фазы калины обыкновенной после двукратного цикла замораживания-размораживания-центрифугирования и термической обработки.

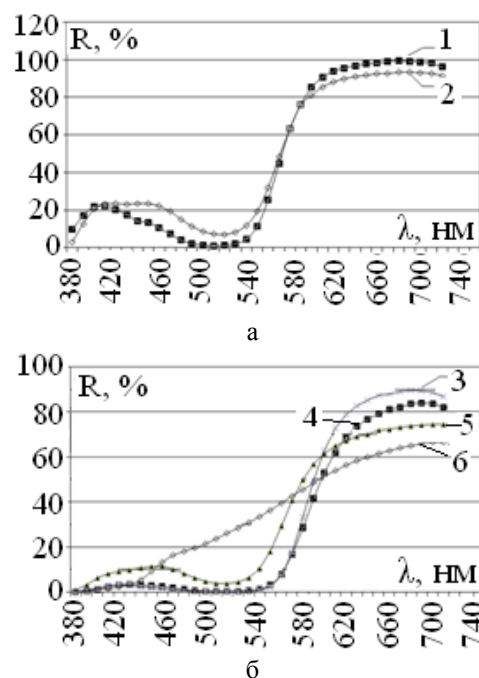


Рис. 1 – Спектры пропускания водных растворов соков и жидких фаз из клюквы крупноплодной и калины обыкновенной: λ – длина волны, R – коэффициент пропускания

Проведенными исследованиями обнаружено, что тепловая обработка (нагрев до 95°C и кипячения в течение 15...20 мин.) вызывает резкое смещение величины цветового тона в область желтого цвета спектральных тонов для исследуемых образцов водных растворов жидкой фазы калины обыкновенной, что в дальнейшем повлияет на пути ее использования в пищевой промышленности.

Благодаря особенностям химического состава и технологическим свойствам продукты переработки растительного сырья играют особую роль в технологиях продукции с пенной и эмульсионной структурой. Поверхностные свойства систем характеризовались по показателю поверхностного натяжения. Выбирая концентрации модельных систем, учитывали возможную долю введения растительных добавок в пищевые продукты. Для проведения исследований предварительно готовили

водные растворы ягодной жидкой фазы со следующими соотношениями жидкой фазы и воды: 1:20, 1:10, 1:5, 1:2. Как свидетельствуют полученные результаты, все исследуемые образцы в одинаковой степени снижают поверхностное натяжение воды. Причем водные растворы жидкой фазы клюквы крупноплодной и калины обыкновенной с разведением 1:2 и жидкая фаза без разведения снижают поверхностное натяжение воды в максимальной степени.

Полученный клюквенный и калиновый жмых подвергали влажным и сухим способам обработки, а именно: варке, припусканию и запеканию. После проведения всех указанных видов технологической обработки были проведены органолептические исследования. Полученные результаты сравнивали с контрольными образцами – замороженными продуктами переработки клюквы и калины. Проверка функционально-технологических свойств жмыха определяет возможные пути его применения, главным образом, в пищевой промышленности.

Для определения желирующей способности ягодного жмыха были приготовлены желе и определена их прочность при помощи механического пенетromетра. Установлено, что показатели прочности желе из жмыха

клюквы практически в 3,5 раза больше, прочность желе из калины и составляет 138 г/см².

В результате проведенных колориметрических исследований водных растворов соков и жидких фаз томатных овощей были количественно установлены основные характеристики цвета (табл. 1), а именно яркость, цветовой тон и колориметрическая чистота цвета, где: 1 – сок томатов грунтовых, 2 – жидкая фаза томатов грунтовых, 3 – сок томатов парниковых, 4 – жидкая фаза томатов парниковых, 5 – сок перца сладкого грунтового, 6 – жидкая фаза перца сладкого грунтового, 7 – сок перца сладкого желтого парникового, 8 – жидкая фаза перца сладкого желтого парникового, 9 – сок перца сладкого красного парникового, 10 – жидкая фаза перца сладкого красного парникового. Полученные результаты позволяют обосновать дальнейшее использование тоματοвощей и продуктов их переработки в пищевой промышленности в качестве рецептурных компонентов, а также определить, какие функционально-технологические свойства они придадут пищевым продуктам в процессе их производства и при реализации, что в определенной степени определит место данной продукции на рынке.

Таблица 1 – Характеристика цвета водных растворов исследуемых образцов

Образец	Характеристики цвета				Цветовой тон (λ), нм $\lambda \pm S_\lambda, S_\lambda = \pm 2$	Колориметрическая чистота цвета (p_c), отн. ед.
	Координаты цвета					
	$X \cdot 10^{-3}$	$Y \cdot 10^{-3}$	$Z \cdot 10^{-3}$			
1	8,5	8,8	5,3	575	0,400	
2	7,7	7,9	4,6	575	0,410	
3	9,5	9,7	7,4	575	0,242	
4	9,1	9,3	6,6	575	0,292	
5	2,2	2,1	1,1	583	0,470	
6	5,8	5,7	3,7	580	0,370	
7	0,74	0,63	0,16	585	0,750	
8	5,0	5,0	2,5	577	0,500	
9	0,65	0,55	0,3	591	0,460	
10	5,0	4,9	2,9	580	0,420	

В результате исследования цветовых характеристик полученных жидких частей грибов установлено, что интенсивность цвета жидкой части грибов в 2 раза выше, чем в соке из свежих культивируемых грибов, а рассчитанные цветовой тон и колориметрическая чистота цвета предоставили возможность отметить, что отличие цветового тона не является выраженной и относится к красно-оранжевой области видимого диапазона электромагнитного излучения (до 660 нм). Применение описанной операции предварительной подготовки культивируемых грибов позволяет получить продукт с высокими цветовыми характеристиками [10].

Исследование поверхностно активных свойств жидких фаз из животного сырья, свидетельствует о том, что им присуща эмульгирующая способность (рис. 2). Установлено, что использование рыбной жидкой фазы с содержанием сухих веществ не менее 11,2% позволяет получить майонез со свойствами типа масляно-жировой эмульсии, структурообразованием и плотностью без применения загустителей, что обеспечивает неизменность органолептических и структурных свойств при хранении.

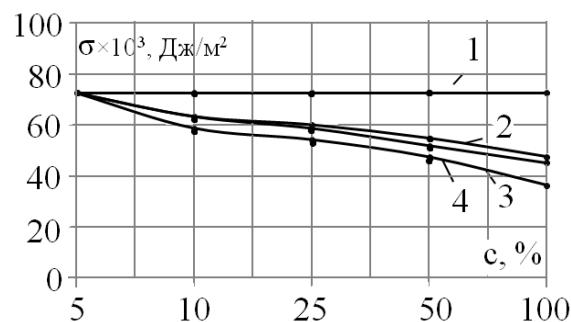


Рис. 2 – Поверхностно-активные свойства жидких фаз: С – концентрация исследуемого раствора, σ – величина поверхностного натяжения; 1 – воды; 2 – из белого мяса бройлеров; 3 – из рыбного сырья; 4 – из красного мяса бройлеров

Анализ ФТВ измельченного мяса (твердой фазы) показал, что образцы характеризуются невысокими значениями влаго- и жиросодержающей способностей, поэтому использование их в традиционных технологиях рубленых полуфабрикатов требует применения дополнительных стабилизаторов и структурообразователей (табл. 2).

Таблица 2 – Функционально-технологические свойства твердой фазы

Показатель	Режим обработки	Вид сырья		
		Рыбное сырье	Белое мясо бройлеров	Красное мясо бройлеров
ВУС, %	Без замораживания	61,70±3,00	67,10±3,30	68,00±3,90
	После 2-х циклов замораживания	31,70±1,50	35,00±1,70	33,10±1,60
ЖУС, %	Без замораживания	0,60±0,02	1,70±0,10	0,50±0,10
	После 2-х циклов замораживания	0,80±0,03	2,40±0,01	1,50±0,10
СЭ, %	Без замораживания	76,40±3,50	75,80±3,70	82,80±4,10
	После 2-х циклов замораживания	66,20±3,30	70,80±3,50	72,60±3,60
ВСС, %	Без замораживания	58,20±2,50	64,10±3,20	62,40±3,20
	После 2-х циклов замораживания	50,70±2,50	53,10±2,60	51,12±2,50

Однако учитывая то, что измельченное мясо за счет циклического замораживания-центрифугирования лишено доли влаги, в технологиях производства паштетов данное сырье может решать проблему потерь массы при тепловой обработке, а также повышению органолептических свойств, пищевой и биологической ценности за счет того, что такое мясо – важное белоксодержащее диетическое сырье.

На основании проведенных исследований были разработаны рекомендации по применению разработанных замороженных обратимых полуфабрикатов, а именно ягодные полуфабрикаты возможно применять при приготовлении десертных блюд с характерными цветовыми и вкусовыми ягодными характеристиками (кисели, муссы и желе), томатные – в технологиях приготовления напитков с томатными вкусами и ароматами, грибные – в технологиях производства полуфабрикатов на основе грибов для первых и вторых блюд, приправ, рыбные и куриные – в технологиях производства паштетов, эмульсий по типу майонез.

Выводы. На основе исследования функционально-технологических свойств полученных жидких и твердых фаз из растительного и животного сырья:

1. Разработана принципиальная схема получения обратимых замороженных полуфабрикатов жидких и твердых фаз пищевого сырья;
2. Изучены функционально-технологические свойства полученных полуфабрикатов и предложены пути их использования в пищевой промышленности при производстве пищевых продуктов и кулинарных блюд;
3. На основании проведенных исследований были разработаны рекомендации по применению разработанных замороженных обратимых полуфабрикатов в технологиях пищевых продуктов и кулинарных блюд.

Список литературы: 1. Скрипников, Ю. Г. Технология переработки плодов и ягод [Текст] / Ю. Г. Скрипников. – К. : Урожай, 1991. – 272 с. 2. Донцова, Н. Т. Создание новых композиций быстрозамороженных готовых блюд и полуфабрикатов для повышения биологичес-

кой ценности [Текст] / Н. Т. Донцова, А. М. Сивачева // Мороженое и замороженные продукты. – 2002. – № 3. – С. 32 – 33. 3. Теоретичні основи харчових технологій : навчальний посібник [Текст] / П. П. Пивоваров ; за ред. П. П. Пивоварова. – Х. : ХДУХТ, 2010. – 363 с. 4. Maskan, A. Effect of concentration and drying processes on color change of grape juice and leather (pestil) [Text] / A. Maskan, S. Kaya, M. Maskan // Journal of food engineering, 2002. – Vol. 54, № 1. – P. 75–80. 5. Burdo, O. G. Optimization of Heat Pipes and Mass Recovery [Text] / O. G. Burdo, S. G. Terziev, A. V. Zykov // 5-th Int. Seminar «Heat Pipe, Heat Pumps, Refrigerators», 8-11 September. – Minsk, Belarus, 2003. – P. 161–166. 6. Kuc, J. Development and future direction of inducec systemic resistance in plans [Text] / J. Kuc // Crop Protection, 2000. – P. 859–861. 7. Potter, D. Functional foods offer products developers new openings [Text] / D. Potter // Food Technology International Europe. – 1991. – Vol. 8. – P. 138. 8. Leung, H. K. Water binding of macromolecules determined by NMR [Text] / H. K. Leung, M. P. Steinberg, L. S. Wei, A. I. Nelson // Food Science, 1976. – Vol. 41. – P. 297. 9. Погужих, М. І. Особливості перерозподілу сухих речовин при підготовці проб для оцінки якості рослинної сировини [Текст] / М. І. Погужих, Д. М. Одарченко // Технологічний аудит і резерви виробництва, 2014. – №3/5 (17). – С. 14–18. 10. Дослідження функціонально-технологічних властивостей заморожених напівфабрикатів на основі дикорослих ягід [Текст] / Д. М. Одарченко, А. І. Кудряшов, С. В. Штих, О. О. Сюсель // Наукові праці Одеської нац. акад. харч. техн. : зб. наук. пр. / ОНАХТ. – Одеса, 2012. – Вип. 42, Т. 2. – С. 17–20.

Bibliography (transliterated): 1. Skripnikov, Yu. (1991). Tehnologya pererobki plodiv ta yagid, 272. 2. Dontcova, N. (2002). Sozdanie novikh kompozitsiy bistrozamozozennikh gotovikh blud I polyfabrikatov dlya povishenia biologicheskoy cennosti. Moroznoe I zamozozenie producty, 3, 32-33. 3. Pivovarov, P. (2010). Teoretichni osnovy kharchovich tehnologiy, 363. 4. Maskan, A. (2002). Effect of concentration and drying processes on color change of grape juice and leather (pestil). Journal of food engineering, 54, 1, 75-80. 5. Burdo, O. (2003). Optimization of Heat Pipes and Mass Recovery. 5-th Int. Seminar «Heat Pipe, Heat Pumps, Refrigerators», 8-11 september, Minsk: Belarus, 161–166. 6. Kuc, J. (2000). Development and future direction of inducec systemic resistance in plans. Crop Protection, 859-861. 7. Potter, D. (1991). Functional foods offer products developers new openings. Food Technology International Europe, 8, 138. 8. Leung, H. (1976). Water binding of macromolecules determined by NMR. Food Science, 41, 297. 9. Pogozhik, M. (2014). Osoblivosty pererospodily syhikh rehovin pri pidgotovtsi prob dlya ocinki yakosti roslynnoi siroviny. Technologicheskii aydit I rezervy proizvodstva, 3/5 (17), 14-18. 10. Odarchenko, D. (2012). Doslidzennya funkcionalno-technologicheskikh vlastivostey zamozozennikh napivfabrykativ na osnovy dikoroslikh yagid. Naukovy pratsi ONAHT, 42, 2, 17-20.

Поступила (received) 03.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Одарченко Дмитрій Николаевич – доктор технических наук, Харьковский государственный университет питания и торговли, профессор кафедры «Товароведения, управления качеством и экологической безопасности»; ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051; тел.: 067-578-33-02; e-mail: laboratory119@mail.ru.

Одарченко Дмитро Миколайович – доктор технічних наук, Харківський державний університет харчування та торгівлі, професор кафедри «Товарознавства, управління якістю та екологічної безпеки»; вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051; тел. 067-578-33-02; e-mail: laboratory119@mail.ru.

Odarchenko Dmytro – doctor of technical sciences, associate professor, Kharkiv State University of Food Technology and Trade; Klochkovs'ka str., 333, Kharkiv, Ukraine, 61051

УДК 66-9

М. И. ВАСИЛЬЕВ, И. В. ПИТАК, В. П. ШАПОРЕВ, О. Я. ПИТАК

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА КАРБОНИЗАЦИИ СОДОВОГО РАСТВОРА В ПРОИЗВОДСТВЕ ОЧИЩЕННОГО БИКАРБОНАТА НАТРИЯ, ПУТИ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА И ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КРИСТАЛЛОВ ПРОДУКЦИИ

Поскольку отсутствует надежная информация о влиянии гидродинамических факторов на количество, скорость образования NaHCO_3 , финальное распределение частиц NaHCO_3 по размерам и массе, в работе рассматриваются вопросы влияния данных факторов при варьировании типов тарелок внутри карбонизационной колонны, их комбинации и расстояния между ними. Изменения внутреннего конструктивного оформления проводились на образце действующей промышленной колонны. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации содовых производств, с целью повышения производительности карбонизационных колонн и улучшения качества продукции.

Ключевые слова: производство соды, раствор, карбонизационная колонна, гидродинамические факторы, контактный элемент, степень пересыщения.

Введение. Массообменные процессы абсорбции газа жидкими растворами, сопровождаемые физико-химическими превращениями в жидкости с образованием и кристаллизацией новой твердой фазы достаточно широко распространены в химической и перерабатывающей промышленности. Такого типа процессы относят к совмещенным реакционно-массообменным процессам – направлено организованным совмещенным процессам [1].

Организация подавляющего большинства указанных совмещенных процессов базируется на чисто эмпирическом подходе. Для примера можно привести организацию основного процесса в производстве очищенного бикарбоната натрия, сущность которого заключается в протекании последовательно-параллельно процессов абсорбции углекислого газа растворами Na_2CO_3 , физико-химическими превращениями с образованием NaHCO_3 в растворе, пересыщения и кристаллизации твердой фазы NaHCO_3 [2,3]. Основным аппаратом (реактором), в котором реализуется процесс, является карбонизационная колонна, работающая под заливом. По высоте колонны выделены зоны абсорбции, пересыщения, кристаллизации.

В известных публикациях [2-5] по исследованию процессов в содовом производстве приводятся ограниченные данные, которые раскрывали бы механизмы интенсификации процессов, протекающих в аппаратах и их взаимного влияния друг на друга, отсутствуют достоверные данные по кинетике процессов и влиянию на кинетику гидродинамических факторов, до конца не ясен механизм химических превращений, не проведен комплексный анализ гидродинамики, энергетического распределения в системе и характеристик газовой фазы, их влияния на кинетику процессов абсорбции и кристаллизации.

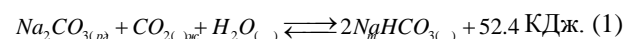
В связи этим исследования, направленные на выяснение особенностей протекания направленно-организованных совмещенных процессов и разработку специфических технологических приемов, основанных на методах интенсивного энергетического воздействия на обрабатываемую среду, с целью ин-

тенсификации химико-технологического процесса являются актуальными. Приведенные в данной статье результаты исследований выполнены для процесса производства очищенного бикарбоната натрия.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Производство очищенного бикарбоната натрия тесно связано с содовым производством, так как в качестве сырья для получения NaHCO_3 применяют кальцинированную соду, или сырой бикарбонат, и диоксид углерода известковых печей. Поэтому цехи для получения очищенного бикарбоната натрия находятся на содовых заводах.

Бикарбонат натрия представляет собой кристаллический порошок белого цвета со средним размером кристаллов 0.05 – 0.2 мм. Его молекулярная масса 84.01, плотность 2200 кг/м³, насыпная плотность 0.9 г/см³. Теплота растворения бикарбоната натрия 205 КДж (48.8 Ккал) на 1 кг NaHCO_3 , теплоемкость 1.05 КДж/кг·К (0.249 Ккал/кг·°С). Содержание основного вещества (NaHCO_3) 99-99.5 %.

Наиболее распространенный способ очистки солей от примесей – перекристаллизация их из растворов. Бикарбонат натрия плохо растворим в воде, а кроме того, термически неустойчив. Поэтому в промышленных масштабах очищенный бикарбонат натрия получают методом карбонизации содового раствора согласно реакции [2-7]:



Применение метода карбонизации позволяет значительно сократить объем жидкости, необходимый для получения единицы продукта, так растворимость соды в несколько раз выше растворимости NaHCO_3 .

Полученный "мокрым" или "сухим" способом содовый раствор подвергают карбонизации для выделения из него NaHCO_3 в твердую фазу по уравнению (1). Как и при поглощении CO_2 аммонизированным

© М. И. Васильев, И. В. Питак, В. П. Шапоров,

О. Я. Питак. 2015

рассолом, скорость абсорбции CO_2 содовым раствором при повышении температуры, с одной стороны, возрастает, так как увеличивается скорость реакции и уменьшается вязкость раствора, что облегчает подвод активного компонента - CO_2 к поверхности контакта фаз, но, с другой стороны, снижается, так как уменьшается движущая сила абсорбции - разность давлений CO_2 в карбонизирующем газе и над раствором. Эти два фактора, влияющие в противоположных направлениях, говорят о наличии оптимума для температуры карбонизации. Он находится в пределах $80 - 60^\circ\text{C}$ [7]. Первая температура относится к поступающему на карбонизацию раствору соды, в котором еще мало бикарбоната и равновесное давление CO_2 невелико, вторая - к конечному карбонизованному раствору, в котором возросшее содержание бикарбоната начинает с повышением температуры заметно влиять на равновесное давление CO_2 над раствором, а значит, уменьшать движущую силу абсорбции.

Повышенные температуры в процессе карбонизации позволяют также получать крупнокристаллический хорошо промываемый осадок NaHCO_3 . Влияние температурного режима на качество кристаллизующегося в растворе осадка рассматривалось при изучении процесса карбонизации аммонизированного рассола [8].

Количество осаждаемого NaHCO_3 при карбонизации содового раствора зависит от концентрации исходного раствора, температуры и степени карбонизации, определяемой как отношение общего содержания CO_2 в осадке и в растворе к общей щелочности исходного раствора. Эту зависимость можно выразить уравнением [7]:

$$x = 0.0088C_{\text{щ. Na}}(R - 87) - 0.015t - 0.7 \quad (2)$$

где x - количество осажденного NaHCO_3 в исходном растворе г-экв/л; $C_{\text{щ. Na}}$ - щелочность исходного содового раствора, г-экв/л; R - степень карбонизации, %; $R_c = (\text{общ. CO}_2/\text{общ. Na}) \cdot 100$; t - температура, $^\circ\text{C}$. Так, при температуре 50°C и степени карбонизации 160 % из каждого литра содового раствора с начальной щелочностью 4,5 г-экв/л выпадает в твердую фазу NaHCO_3 :

$$x = 0.0088 \cdot 4.5(160 - 87) - 0.015 \cdot 50 - 0.7 = 1.44 \text{ г-экв.}$$

Очевидно, что чем выше концентрация общего Na в исходном растворе, ниже конечная температура суспензии и выше степень ее карбонизации, тем больше будет в осадке NaHCO_3 . Однако следует отметить, что конечная температура суспензии определяется не количеством оседающего бикарбоната натрия, а его качеством, поэтому степень карбонизации поддерживается достаточно далекой от равновесной.

Ответственной операцией в процессе получения очищенного бикарбоната натрия является кристаллизация NaHCO_3 . При кристаллизации NaHCO_3 в процессе карбонизации содовых растворов установлена непосредственная зависимость между скоростями кристаллизации - W и абсорбции CO_2 , так как последняя определяет величину пересыщения раствора по NaHCO_3 . С другой стороны, скорость кристаллизации

бикарбоната натрия влияет на скорость абсорбции CO_2 , так как в процессе кристаллизации NaHCO_3 уменьшается концентрация HCO_3^- ионов, отрицательно влияющих на поглощение CO_2 раствором. Кристаллизация NaHCO_3 может определяться гидродинамическими условиями - турбулизацией системы (интенсивностью ее перемешивания) или температурой. В этих условиях скорость кристаллизации зависит только от температуры. Для обеих областей протекания процесса кристаллизации, носящих название диффузионной и кинетической, $W_{\text{кр}}$ в общем виде выражается уравнением [7]:

$$W_{\text{кр}} = K_k \Delta C^n, \quad (3)$$

где K_k - константа скорости кристаллизации NaHCO_3 ;

ΔC - пересыщение раствора по NaHCO_3 , или разность между текущей и равновесной концентрациями NaHCO_3 в растворе; n - показатель степени, равный для диффузионной области 1 и для кинетической 2.

Опыты показали [2-8], что при малой интенсивности перемешивания процесс кристаллизации лежит в диффузионной области, при высоких интенсивностях перемешивания - при высокой степени турбулизации системы - в кинетической.

Крупные, хорошо фильтрующиеся кристаллы NaHCO_3 получаются при поддержании высокой температуры карбонизируемой суспензии ($60 - 70^\circ\text{C}$) вплоть до ее выхода из карбонизационной колонны. Получению крупных кристаллов NaHCO_3 способствует также сама конструкция карбонизационной колонны - с малым числом тарелок, обеспечивающая продольное перемешивание жидкости внутри колонны, вынос мелких кристаллов NaHCO_3 из нижней части колонны в верхнюю в качестве затравки, на которой протекает массовая кристаллизация. Пересыщение снижается, снижается скорость кристаллизации, и кристаллы укрупняются.

Основным аппаратом в отделении переработки содового раствора является карбонизационная колонна [2-5]. Она бывает двух видов - большая и малая. В большой карбонизационной колонне диаметром 2300 мм и общей высотой 25 575 мм число бочек 45. В 12 бочках размещены барботажные тарелки. Расстояние между тарелками 1570 мм. Колонна имеет бочку-базу с распределительной тарелкой, барботажные тарелки со штуцерами и бочки с люками для ревизии аппарата.

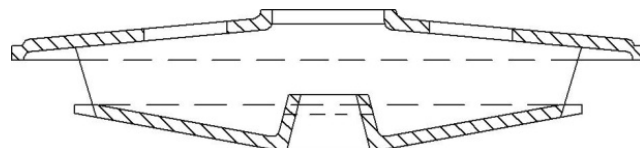


Рис. 1 - Барботажная тарелка большой карбонизационной колонны

Барботажная тарелка большой колонны (рис. 1) отличается от других применяемых тарелок тем, что в ней увеличено расстояние между днищем и колпаком до 220 мм, уменьшен диаметр колпака, увеличена площадь отверстий в днище. Эти изменения позволи-

ли значительно удлинить время межпромывочного пробега колонны и уменьшить ее гидравлическое сопротивление.

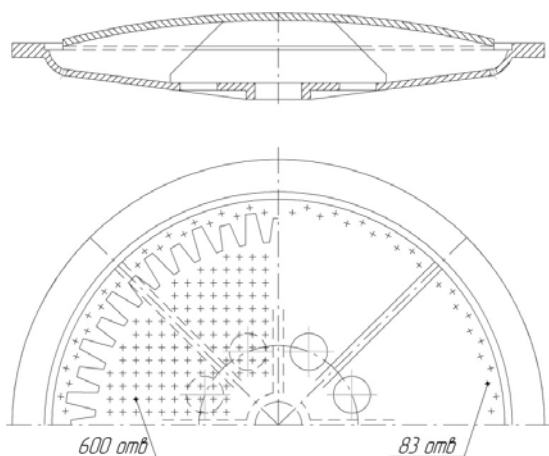


Рис. 2 - Барботажная тарелка малой карбонизационной колонны

В малой карбонизационной колонне диаметром 2000 мм и общей высотой 14 980 мм 12 бочек, включая бочку-базу. Высота бочки 1200 мм. В 5, 6, 8 и 9-й бочках (снизу) установлены барботажные тарелки. Малая колонна имеет штуцера для входа и выхода CO_2 и для подачи содового раствора и выхода суспензии. Ее барботажная тарелка (рис. 2) представляет собой ложное днище слабо выраженной сферической формы, зажатое между фланцами соседних бочек. Днище имеет одно центральное отверстие диаметром 200 мм и 8 периферийных отверстий диаметром по 150 мм каждое. Сверху ложное днище закрыто колпаком с зубчатыми краями. По всей поверхности колпака просверлены отверстия конической формы с наружным диаметром 12 мм и внутренним 25 мм. Коническая форма отверстий уменьшает скорость забивания их осадком NaHCO_3 .

Поскольку ответственной стадией в процессе получения очищенного бикарбоната натрия является кристаллизация NaHCO_3 , в последнее время по аналогии с колонной карбонизации в содовом производстве в зоне интенсивного образования NaHCO_3 рекомендуется устанавливать перекрестно-точные тарелки, которые способствуют равномерному росту кристаллов [7]. Фрагмент колонны и конструкция перекрестно-точной тарелки представлена на рис. 3.

Полотно тарелки 2 с переливами 3 имеет отверстия диаметром 40 – 60 мм. Свободное сечение тарелки $0,017 \text{ м}^2/\text{м}^3$, межтарелочное расстояние 800 мм. Все типы карбонизационных колонн работают под заливом, т.е. колонна заполнена прогазованной жидкостью.

В случае установки перекрестно-точных тарелок, свободное сечение тарелки рассчитано так, чтобы

суспензия не проваливалась через отверстия в полотне тарелки, а двигаясь к переливу перпендикулярно движению газа, что должно обеспечивать увеличение времени пребывания в зоне кристаллизации и равномерный рост кристаллов.

Анализ известных публикаций [2-10] показывает, что внутренняя конструкция колонны в зоне сорбции CO_2 раствором Na_2CO_3 должна обеспечивать хорошее радиальное перемешивание и незначительное продольное с относительно низким гидравлическим сопротивлением в этой зоне, а в зоне кристаллизации NaHCO_3 хорошее продольное перемещение и радиальное распределение твердой фазы при относительно низкой мощности, затрачиваемой на ее распределение.

Кроме того конструкция должна обеспечивать устойчивость гидродинамической структуры потоков жидкости в диапазоне изменения скоростей потоков газа и жидкости. Как показано в [2-10] изменения (колебания) газовой и жидкостной нагрузок в промышленных колоннах приводит к тому, что в промышленной колонне образуются газовые прослойки, жидкость начинает зависать, возрастает прогазованность колонны и продольная циркуляция жидкости, снижается скорость поглощения CO_2 , а в зоне кристаллизации резко возрастает скорость снятия пересыщения, что приводит к уменьшению размеров кристаллов и что, не менее важно, изменению их форм и габитуса. Поэтому повышение производительности колонн, при сохранении их габаритных размеров и конструкции контактных элементов, за счет увеличения расхода газа, точнее за счет существенного изменения соотношения $V_{\text{жс}}/V_{\text{г}}$, в ту или иную сторону, для существующей конструкции не целесообразно. Изменение габаритных размеров колонн, в которых протекают указанные реакционно-совмещенные процессы достигли предельных значений, исходя из различных посылок, в том числе металлоемкости и прочности.

Изменение гидродинамической обстановки в

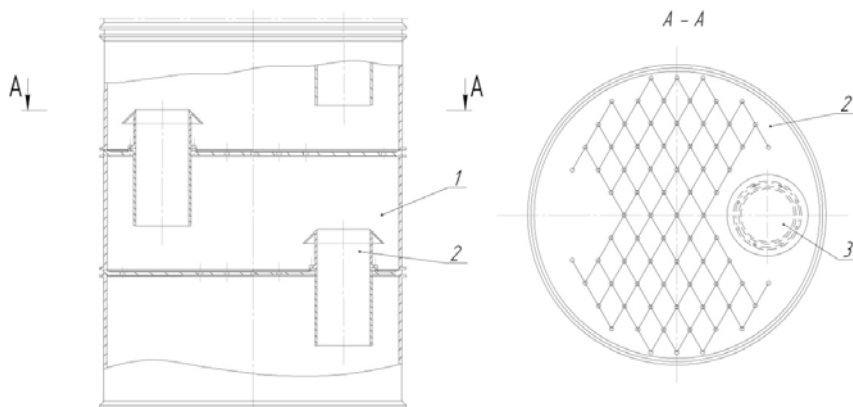


Рис. 3 – Фрагмент колонны с перекрестно-точными тарелками: 1 – абсорбционная царга (бочка); 2 – перекрестно-точная тарелка; 3 – перелив

барботажных колоннах наиболее существенно можно достичь варьированием вида контактного устройства (тарелки), расстоянием между ними (размеры полых зон). Изменения вязкости системы и ее поверхностного натяжения (ПАВ, добавки), а также величиной скорости газа и его давлением. Последние факторы, как отмечалось выше, для существующих колонных ап-

паратов близки к предельным. Поэтому гидродинамическую обстановку применительно к действующим колонным аппаратам в содовой промышленности можно изменять вариацией первых трех факторов.

Несмотря на достаточно большой объем публикаций [2–10] отсутствует надежная информация о влиянии гидродинамических факторов на количество и скорость образования NaHCO_3 , а также на финальное распределение частиц NaHCO_3 по размерам и массе.

Потому одной из основных задач, которые ставятся при усовершенствовании технологии производства очищенного бикарбоната натрия, является интенсификация межфазного переноса и оптимизация структуры потоков с целью увеличения скорости и селективности процесса кристаллизации, подразумевается при этом получение кристаллов однородного размера и определенной формы.

Таким образом следует считать, что основной задачей исследования является определение влияния

гидродинамических факторов на количество образовавшегося NaHCO_3 и моменты распределения (финальное распределение частиц NaHCO_3 по размерам и массе), при варьировании типов тарелок и их комбинации, расстояния между ними, то есть при изменении внутреннего конструктивного оформления действующих промышленных колонн.

Исследование динамики процессов, протекающих в карбонизационной колонне и качества кристаллов бикарбоната натрия.

Методика проведения исследования.

Для получения экспериментальных данных о концентрации NaHCO_3 в неравновесном растворе, изучения гидродинамических и кинетических характеристик процесса карбонизации содо- бикарбонатных растворов были проведены опыты (рис. 4) на физической модели спутнике (3) бикарбонатной колонны диаметром 1 м и высотой 12 м.

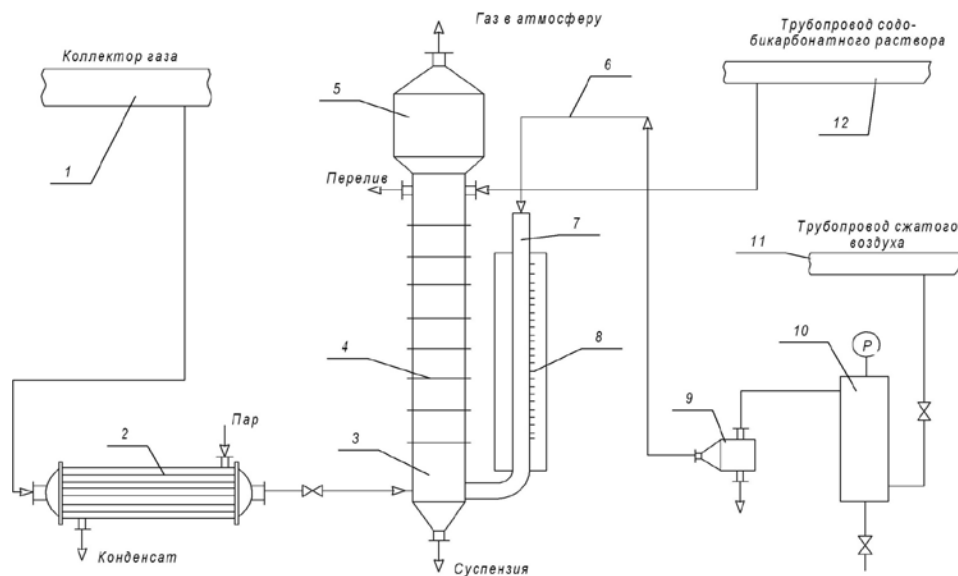


Рис. 4 – Схема опытной установки для исследования процесса карбонизации содо- бикарбонатных растворов

Модель была оснащена 10 тарелками (абсорбционная зона (поз 4)), межтарельчатое расстояние 0.7 м, а также 5 тарелками в зоне кристаллизации, между зонами отсутствовали контактные элементы по высоте 1.5 м. В верхней части колонны было установлено сепарирующее устройство (5) высотой 2 м и диаметром 1.54 м. По высоте колонны расположены устройства для отбора проб жидкости и штуцера для измерения гидравлического сопротивления и температуры. При проведении экспериментов была возможность изменения межтарельчатого расстояния и изменения количества контактных элементов.

Содо- бикарбонатный раствор из трубопровода (12) поступает в верхнюю часть модели (3), карбонизируемую жидкость после модели направляли в отделение фильтрации. В нижнюю часть модели из коллектора газа известково-обжигательных печей (1), через теплообменник (2) подавался газ, который, пройдя модель, выбрасывался через сепарирующее устройство (5). Расход газа варьировался от 10 до 20 м³/ч. Содо- бикарбонатный раствор подавали в модель (3) до тех пор, пока уровень его не достигал второй та-

релки, считая сверху. Затем в течении 100 мин (600 с) через модель пропускали определенное количество газа. Для поддержания требуемого температурного режима, газ из коллектора известково-обжигательных печей направляли в теплообменник, в который подавался пар; из теплообменника нагретый газ поступал в нижнюю часть модели. Во время каждого опыта измеряли температуру и гидравлическое сопротивление по высоте модели, а также производили отбор проб с целью определения различных параметров жидкостного потока. Степени пересыщения определяли по уравнению [11]:

$$\Delta G_n = 84 \left(\frac{C_{\text{NaHCO}_3}^{\text{вых}}}{20} - \frac{C_{\text{NaHCO}_3}^P}{20} \right) \quad (4)$$

где 84 – масса одного грамм-эквивалента NaHCO_3 ; $C_{\text{NaHCO}_3}^{\text{вых}}$ и $C_{\text{NaHCO}_3}^P$ – соответственно концентрации NaHCO_3 на выходе из колонны, н.д.; равновесная концентрация NaHCO_3 , н.д.; 1/20 – коэффициент перевода н.д. в г·эква/дм³.

Эта величина составляет 25 - 32 г/дм³, что согласуется по порядку величин представленных на поли-терме растворимости [12].

Соотношение $V_{ж} / V_{г}$ составляло чуть больше 0,02, что типично для трельчатых абсорберов. Газосодержание определяли по разнице высот азрированной и не азрированной суспензии, расчет вели по уравнению:

$$\Phi = \frac{(H_E - H_S)}{H_E}, \quad (5)$$

где H_E - высота столба жидкости без учета пены; H_S - статистическая высота слоя жидкости с газом.

Величина удельной межфазной поверхности определялась по эмпирическому уравнению Кальдербанка [13]:

$$a = 1.44 \frac{E^{2/5} \rho^{3/5}}{\sigma^{3/5}} \left(\frac{U_{г}}{U_B} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

где σ - поверхностное натяжение; E - фактор турбулентности в теории изотропной турбулентности Колмогорова, использованной в исследованиях.

Для установки фактор E рассчитывался по уравнению [4]:

$$E = U_{г} \cdot g \left(\frac{P_1}{P_1 - P_2} \right) \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right), \quad (7)$$

где P_1 - давление внизу колонны; P_2 - давление вверху колонны; $U_{г}$ - линейная скорость газа; g - ускорение свободного падения.

Для расчета величины k_{LA} использовалось уравнение [14]:

$$k_{LA} = \frac{C_2 \rho^{3/5} \nu^{1/4}}{\sigma^{3/5}} E^{59/60} \frac{1}{D_K^{1/6} g^{1/2}} \left(\frac{\mu}{\mu_B} \right)^{1/4} S_C^{-1/2}, \quad (8)$$

где C_2 - коэффициент = 0.452; D_K - диаметр колонны; μ_B, μ - соответственно динамическая вязкость газа и суспензии; $S_C = \frac{\nu}{D}$; D - коэффициент диффузии рас-

пределяемого газа в жидкости.

Характеристика контактных элементов (тарелок) испытываемых при проведении экспериментальных работ.

Первые два типа тарелок (рис. 5) типичные для колонных аппаратов барботажного типа, используемых в содовом производстве, конструкция тарелок описана ранее. Третий тип (рис. 5, III-ТК) заимствован из работ С. М. Карпачевой [15]. В этой работе тарелка - называется насадкой и предназначена для интенсификации процессов растворения твердой фазы или процесса экстракции в системе жидкость - твердое при пульсации столба жидкости в реакторе. Привлекательность использования такой тарелки для исследуемого случая заключается в очевидном факте (см. конструкцию), а именно, попеременном изменении на каждой ступени направления векторов скоростей потоков газа и жидкости. То есть с использованием тарелок ТК в колонном аппарате может быть организованно неоднократно повторяющееся разгонно-тормозное движение с изменением векторов скорости и давления. В известной периодической литературе нами не обнаружено результатов исследований по применению тарелок типа ТК в барботажных колон-

нах противоточного типа (системы Г-Ж, Г-Ж-Т). Учитывая изложенное выше, применение тарелок ТК может дать существенный эффект по интенсификации массообменных процессов. Особенно это существенно для абсорбционной зоны.

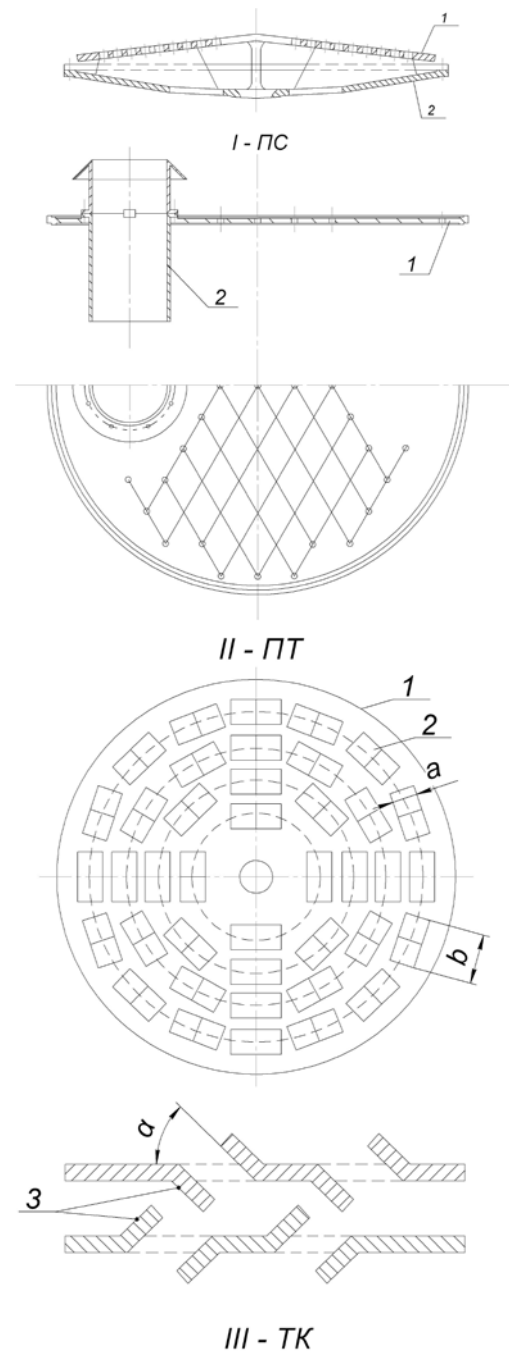


Рис. 5 – Конструкции тарелок: I – ПС – пассетная тарелка; 1 - перфорированный колпак; 2 – тарелка; II – ПТ – перекрестно-точная ситчатая тарелка с переливами; 1 - ситчатая тарелка; 2 – перелив; III – ТК – контактный элемент типа КРИМЗ; 1 - диск; 2 - отверстия; 3 - направляющие лопатки

Исходя из вышеизложенного последовательность установки контактных элементов внутри колонны была следующей: в абсорбционной зоне устанавливалось 10 тарелок I – ПС (рис. 5) или типа III – ТК, в зоне кристаллизации для любого варианта устанавливалось 5 тарелок перекрестно-точного типа II – ПТ (рис. 5). Между зонами абсорбции и кристаллиза-

ции (1,5м) отсутствовали вышеотмеченные контактные элементы.

Для стабилизации потоков газа на указанном участке колонны, ровно на половине ее высоты (0,75м) была установлена противоточная дырчатая тарелка с диаметром отверстий 80 мм (0,08м), со свободным сечением 0,3. Описанная комбинация контактных элементов в зонах после абсорбционной, во всех экспериментах была идентичной. Это связано с тем, что как показано в литературе [2-10], контактные элементы типа II – ПТ достаточно эффективны в зоне кристаллизации, поэтому варьировали типом элементов в абсорбционной зоне.

Результаты экспериментальных исследований динамики процессов, протекающих в модели карбонизационной колонны, и качество кристаллов карбоната натрия.

В результате исследований было установлено, что процесс карбонизации в колонне (модель – спутник) можно условно разбить на три зоны в зависимости от T и pH среды. Первая зона – верх карбонизационной колонны, занимает большую часть абсорбционной части реактора примерно 50% от рабочей высоты КЛ. Для нее характерны следующие параметры:

$$T \Rightarrow 353 \rightarrow 343K; \quad pH \Rightarrow 11,5 \rightarrow 9,8;$$

$$R \Rightarrow 100 \rightarrow 160\%; \quad V_T = 0,3 \div 0,4 \text{ о/мин.}$$

Вторая зона начинается с конца абсорбционной зоны (последние 4-5 бочек) и начало кристаллизационной части колонны (первая бочка). Для второй зоны характерны:

$$T \Rightarrow 343 \rightarrow 350K; \quad pH \Rightarrow 11,2 \rightarrow 10,8;$$

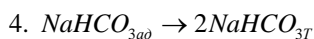
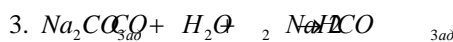
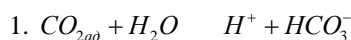
$$R \Rightarrow 160 \rightarrow 180\%; \quad V_T = 0,08 - 0,1 \text{ о/мин.}$$

Третья зона представляет всю оставшуюся часть зоны колонны. Для третьей зоны характерны:

$$T \Rightarrow 350 \rightarrow 333K; \quad pH \Rightarrow 10,8 \rightarrow 9,2;$$

$$R \Rightarrow 180 \rightarrow 195\%; \quad V_T = 0,62$$

Здесь R – степень карбонизации, V_T – скорость падения температуры, T – интервал температур. В колонне протекают следующие химические реакции:



Образование $NaHCO_3$ происходит последовательно, в несколько этапов, из различных источников, однако самой медленной стадией являются реакции 1,2; так как константы диссоциации равны: $K \approx 10^{-4}$; $K \approx 4,8 \cdot 10^{-11}$. Следовательно, каково бы ни было узкое место процесса абсорбции, кинетика ее, в конечном счете, определяется концентрацией ионов OH^- раствора и потенциальной концентрацией H^+ ионов по 2 реакции, ибо – это основные движущие силы процесса.

На рис. 6 приведены экспериментальные кривые, показывающие зависимость массы поглощенного CO_2 при проходе жидкой фазы через КЛ при различных расходах газа, $m^3/ч$.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 6, показывает, что процесс поглощения диоксида угле-

рода независимо от типа контактного элемента протекает в три стадии. В первой стадии изменение количества поглощенного CO_2 происходит по закону близкому к линейной зависимости.

По видимому, на этой стадии достигаются условия непрерывного роста пересыщения раствора по бикарбонату натрия. Во второй стадии количество поглощенного раствора диоксида углерода быстро увеличивается во времени и достигает максимального значения. В этот период начинается процесс снятия пересыщения по $NaHCO_3$, появляются зародыши твердой фазы. В третьей стадии поглощение CO_2 практически не происходит, очевидно, идет процесс кристаллизации.

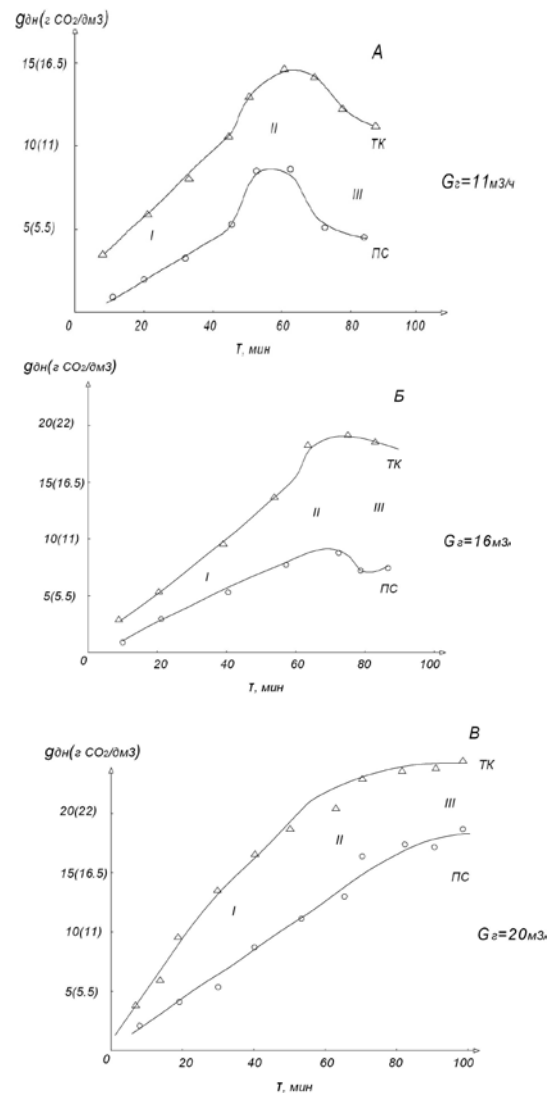


Рис. 6 – Изменение количества поглощенного CO_2 во времени при различных расходах газа в колонну-спутник, G_{Γ} , $m^3/ч$: а – при расходе газа $G_{\Gamma} = 11 \dots m^3/ч$; б – при расходе газа $G_{\Gamma} = 16 \dots m^3/ч$; в – при расходе газа $G_{\Gamma} = 20 \dots m^3/ч$

Анализируя экспериментальные данные рис. 6 можно сделать вывод, что процесс карбонизации сода-бикарбонатного раствора является функцией расхода газа и с увеличением последней протекает более интенсивно за счет увеличения поверхности контакта фаз. Как и следовало ожидать, процесс карбонизации протекает значительно более интенсивно, если в адсорбционной зоне установлены контактные элементы типа ТК.

При более высоких расходах газа $16 \div 20 \text{ м}^3/\text{ч}$ в колонне с контактными элементами ТК граница между зонами I и II сглаживается (рис. 6). В итоге можно отметить, что количество поглощенного CO_2 в КЛ с тарелками ТК в $1,7 \div 2,2$ раза больше, чем в КЛ с пассетами. Этот вывод также подтверждают экспериментальные данные, отражающие зависимость изменения степени карбонизации раствора от времени в колонне-спутнике рис. 7.

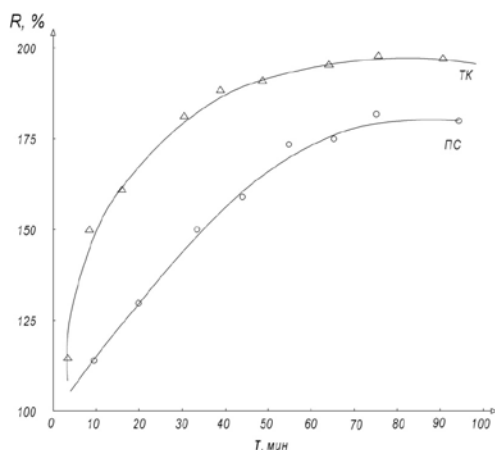


Рис. 7 – Изменение степени карбонизации раствора во времени $G_T = 20 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Как следует из экспериментальных данных, приведенных на рис. 7 в КЛ с тарелками ТК объем поглощенного диоксида углерода за один и тот же период времени больше, чем в КЛ с ПС. Это свидетельствует о том, что в КЛ с ТК процесс карбонизации протекает более интенсивно и позволяет повысить степень карбонизации раствора, соответственно степень использования (утилизации) $\text{CO}_2 - U_{\text{CO}_2}$, а, следовательно, повысить производительность колонны. На рис. 8 приведено изменение степени пересыщения раствора NaHCO_3 ($\Delta\Pi$, $\text{г}/\text{дм}^3$) в зависимости от продолжительности процесса карбонизации (τ , мин) при расходе газа, равном $18 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Сравнение характера изменения степени пересыщения раствора при установке в абсорбционной зоне КЛ различных контактных элементов при расходе газа $G_T = 18 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рис. 8), показывает, что в КЛ с контактными элементами ТК степень пересыщения раствора меньше, чем в колонне с пассетами. При этом, несмотря на то, что величина начального пересыщения в КЛ с ТК меньше, время снятия начального и остаточного пересыщения не увеличивается. Это связано с тем, что в КЛ с ТК в зоне кристаллизации происходит равномерное распределение реагентов по объему зоны, а в зоне абсорбции обеспечивается интенсивное поглощение CO_2 .

Наблюдения при помощи электронного микроскопа за составом отбираемых проб суспензии показали, что в КЛ с ПС кристаллы NaHCO_3 появляются на высоте $0,8 - 0,85 \text{ Н}$ от нулевой отметки. В зоне $0,8 - 0,5 \text{ Н}$ кристаллы имеют однородные размеры в каждом сечении КЛ и растут от величины 10 мкм до $80 - 100 \text{ мкм}$. Ниже сечения $0,45 - 0,5 \text{ Н}$ наблюдается дисперсия кристаллов по размерам от 10 до 500 мкм .

Основная фракция кристаллов на выходе из колонны $50 - 100 \text{ мкм}$, ее доля составляет $\sim 70 \%$ (рис. 9).

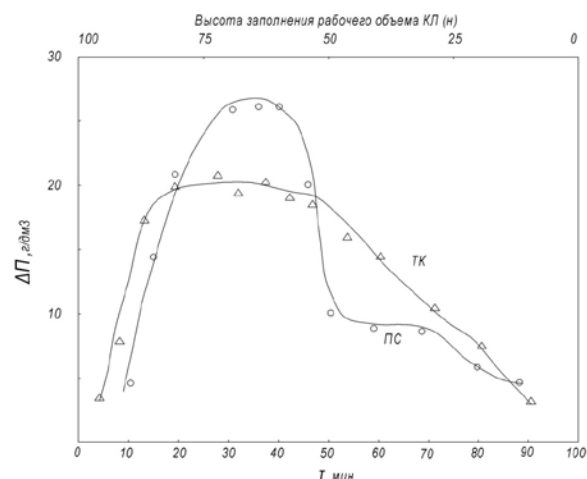


Рис. 8 – Изменение степени пересыщения раствора по NaHCO_3 ($\Delta\Pi$, $\text{г}/\text{дм}^3$) во времени $G_T = 18 \text{ м}^3/\text{ч}$.

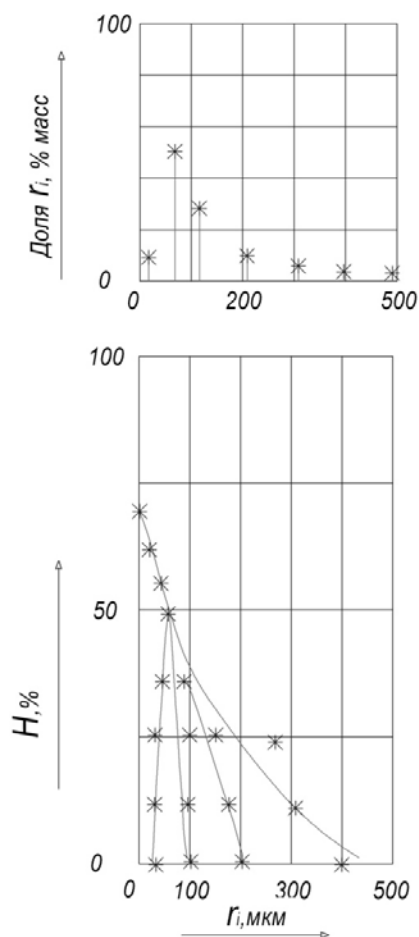


Рис. 9 – Диаграмма распределения кристаллов по высоте КЛ с ПС

В колонне, предложенной нами, с контактными элементами в абсорбционной зоне типа ТК, первые кристаллы размером $5 - 10 \text{ мкм}$ появляются на высоте $0,8 \text{ Н}$. Максимальное пересыщение достигается на высоте примерно $0,85 - 0,8 \text{ Н}$ и поддерживается на этом уровне до $0,55 \text{ Н}$ (рис. 8). В интервале $0,8 - 0,5 \text{ Н}$ наблюдается однородные по размерам кристаллы \sim

10 мкм в любом сечении КЛ. Ниже наблюдается дисперсия кристаллов по размерам (рис. 10). На выходе из колонны определяющий размер кристаллов лежит в интервале 110 – 140 мкм, доля этой фракции 82 – 84 %.

Из приведенных данных следует, что, по-видимому, механизм образования и роста кристаллов NaHCO_3 в КЛ с различной конструкцией контактных элементов одинаков. Конструкция КЭ определяет интенсивность процессов массопереноса, что в свою очередь определяет начальное пересыщение σ_0 , ΔP , T_{\max} в зоне появления первых кристаллов и скорость снятия пересыщения. Изменение именно этих параметров приводит к вышеописанным результатам по распределению кристаллов. Однако, как уже отмечалось, температура T_{\max} имеет тенденцию возрастания с увеличением k_{LAV} , что обеспечивает понижение ΔP и получение стабильных зародышей NaHCO_3 . При более равномерном понижении температуры это позволяет получать более равномерные кристаллы. В работах [16, 17] установлено, что первичные зародыши (включения насыщенного раствора вещества кристаллизанта в жидком растворителе) могут образовываться на пограничном слое, разделяющим газовый пузырь (CO_2) и раствор кристаллизанта. Далее под термином включение следует понимать выражение в скобках. Согласно [18] речь идет о включениях, линейный размер которых имеет порядок $10^{-3} - 10^{-4}$ см.

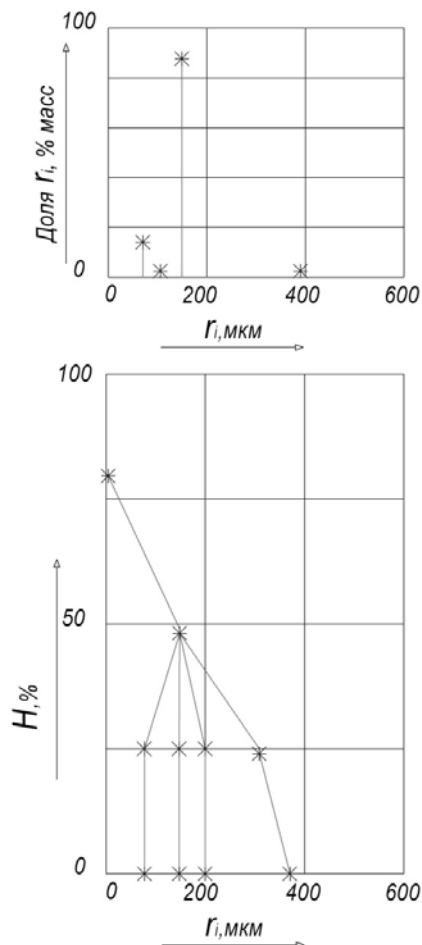


Рис. 10 – Диаграмма распределения кристаллов по высоте КЛ с ТК

В момент появления в КЛ твердой фазы такие включения четко наблюдаются и соответствуют размеру $5 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-4}$ см. (рис. 11а) Указанное включение после отрыва в объем жидкой фазы под влиянием силы, приложенной извне, может перемещаться как целое. Не детализируя конкретные процессы на границе кристалл-раствор, можно утверждать, что такое движение включения есть следствие направленного потока вещества кристаллизанта в объеме включения, поддерживаемое переносом в растворе осаждаемого комплекса к поверхности включения, переносом через его объем этого комплекса и осаждения на тыльной поверхности включения. Можно ожидать, что при движении включения оказывается в роли микроскопической емкости, в которой происходят процессы переноса и осаждения, обнаруживающие себя по наблюдаемому движению включения как целого, т.е. роста кристаллов.

На экспозиции А зафиксированы "включения" и момент, когда начинается их движение, то есть момент начала роста кристалла. На экспозиции Б рис. 11 зафиксированы моменты движения включения, то есть роста кристалла. На экспозиции В показано завершение роста кристалла в диффузионном режиме и размер Y_c , характеризующий переход к кинетическому режиму. Одним из факторов, свидетельствующим о кинетическом росте, является вицинальная секториальность. На рис. 11 Г, Д показаны экспозиции, фиксирующие это явление. Вицинальная секториальность, ухудшает качество кристаллов, приводит к значительным отклонениям от равновесной формы, повышает пористость и вероятность захвата примесей. Основной причиной этого явления есть смена центров роста кристаллов. На рис. 11 Г показано, что ведущий центр роста – «включения» заменяются на два новых центра 1, 2, которые заем приводят к вискеризации рис. 11 Д.

Было установлено, что определяющую роль в рассматриваемых явлениях (смена центра роста, вискеризация) играют величины скорости потоков фаз U_x и $\frac{dT}{dH}$. Поскольку снижение или увеличение U_x в КЛ ограничено гидродинамическими причинами (это нами показано ранее), то определяющую роль будет играть $\frac{dH}{d\tau} \approx \frac{dH}{dH}$, что и следует из вышеприведенного анализа работы КЛ. Из приведенных данных вытекает, что с точки зрения потребительских свойств качество кристаллов NaHCO_3 повышается при переходе от КЛ с пассетами к КЛ предложенной конструкции.

Эта закономерность является прямым следствием конструктивных изменений в КЛ, которые приводят к изменению гидродинамических и температурных режимов. Последние в свою очередь определяют характер протекания процессов в КЛ.

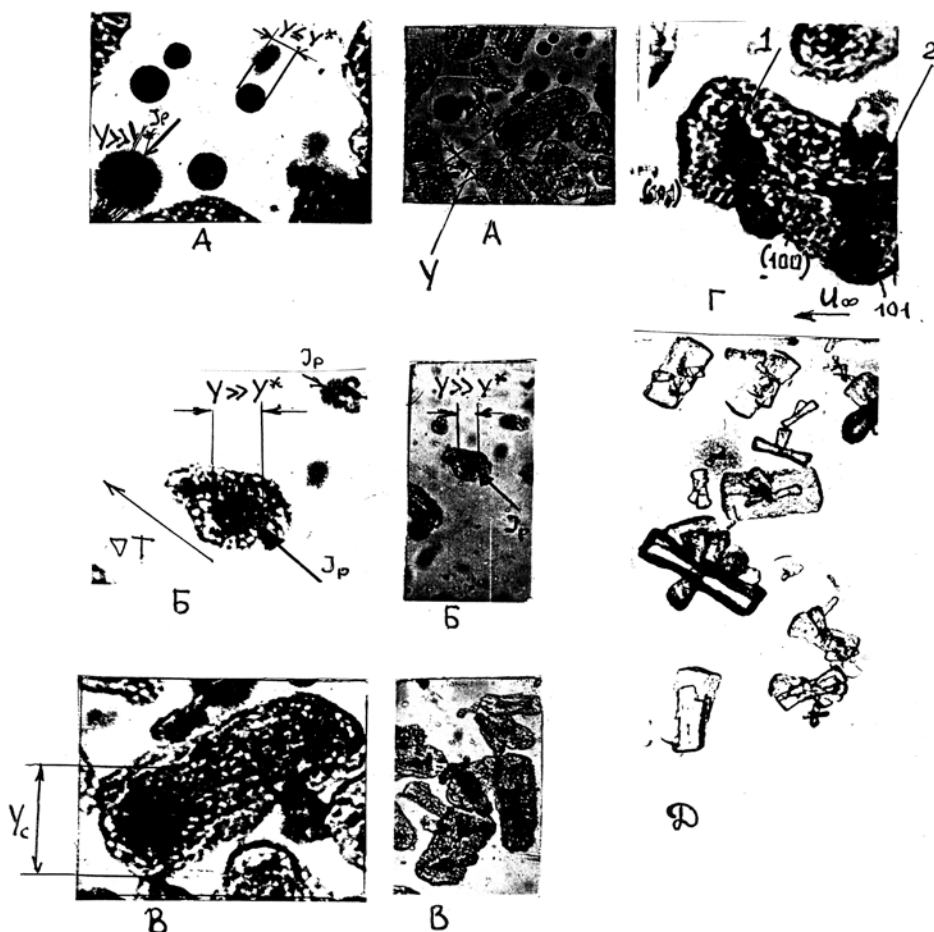


Рис. 11 – Экспозиция кристаллов NaHCO_3 , отобранных по высоте КЛ в различных сечениях (объяснение по тексту)

Выводы

1. Результаты исследований, и их анализ, показали, что в барботажных суспензионных колоннах с контактными элементами в абсорбционной зоне, имеющими наклонные направляющие относительно плоскости тарелки, позволяют существенно интенсифицировать процессы массопереноса (абсорбции CO_2), за счет снижения коэффициентов продольного перемешивания в 1,6 раза, в сравнении с другими типами КЭ, увеличения межфазной поверхности в 2 раза, увеличения коэффициентов массоотдачи в 1,5 раза;

2. Установлено, что в зоне кристаллизации NaHCO_3 наиболее эффективными являются перекрестно – точные ситчатые тарелки с переливами, которые обеспечивают интенсивный массообменный процесс на контактном элементе и одновременно вдоль зоны кристаллизации интенсивное продольное перемешивание, способствующее равномерному распределению зародышей новой фазы (NaHCO_3) по объему кристаллизационной зоны;

3. Анализ результатов исследований позволяет утверждать, что в КЛ с принятой комбинацией КЭ, по сравнению с традиционной КЛ с пассетами, массообменные процессы, связанные с поглощением CO_2 , протекают значительно более интенсивно (в 1.7 – 2.2 раза), что позволяет повысить степень использования CO_2 , и, соответственно, производительность КЛ в 1.5 раза, при сохранении его габаритов, а ее пробег от чистки до чистки в 1.5 – 1.8 раза (то есть обеспечить пробег 18 – 20 суток вместо 10).

4. Оценка качества кристаллов NaHCO_3 (потребительских свойств) показала, что на выходе из колонны с традиционными пассетами дисперсия кристаллов по размерам составляет от 10 до 500 мкм, основная фракция 50 - 100 мкм и ее доля составляет примерно 70 %; на выходе из модернизированной колонны дисперсия кристаллов по размерам составляет 50 - 380 мкм, определяющий размер 110 - 140 мкм, Доля этой фракции 82 – 84 %.

5. Анализ процесса кристаллизации в модернизированной колонне показал, что рост кристаллов происходит в соответствии с диффузионным механизмом, что обязано меньшему значению начального пересыщения, снижению скорости поглощения CO_2 в зоне кристаллизации, и за счет реализации диффузионной модели в зоне кристаллизации, выноса мелких кристаллов (зародышей) в начало зоны кристаллизации, которые играют роль затравки; в итоге кристаллы имеют бочкообразную и цилиндрическую форму с однородными размерами и малой дефектностью поверхности, последнее обеспечивает интенсивное обезвоживание суспензии и незначительный расход чистой воды на промывку осадка;

6. По результатам исследований получен патент Украины на новую конструкцию карбонизационной колонны.

Список литературы: 1. Слinsky, М. Г. Некоторые тенденции развития теории химической технологии [Текст] / М. Г. Слinsky // Химическая промышленность. – 2000. – №2 (69). – С. 3–8. 2. Беляев, Э. К. Основные направления интенсификации процесса карбонизации

содового раствора в производстве очищенного бикарбоната натрия [Текст] / Э. К. Беляев // Технология соды и содо продуктов. – Харьков. тр. НИОХИМ. – 1980. – Т. 52. – С. 54-59.**3. Rant, Z.** Die Eazngung von Soda nach dem Solvay Verfahren. Sarajevo [Text] / Z. Rant // Forschung sinstitut fur Bergban und Chemishe Technologie Tuzla Rant, 1988. – 543 p.**4. Крашенинников, С. А.** Технология кальцинированной соды и очищенного бикарбоната натрия [Текст] / С. А. Крашенинников. – Москва. ВШ, 1986. – 285 с.**5. Зайцев, И. Д.** Производство соды [Текст] / И. Д. Зайцев, Г. А. Ткач, Н. Д. Стоев. – М.: Химия. – 1986. – 312 с.**6. Крашенинников, С. А.** Технология соды [Текст] / С. А. Крашенинников. – М.: Химия, 1988. – 305 с.**7. Ткач, Г. А.** Производство соды по малоотходной технологии [Текст] / Г. А. Ткач, В. П. Шаповров, В. М. Титов. – Харьков. ХГПУ, 1998. – 430 с.**8. Шаповров, В. П.** Моделирование процесса роста кристаллов из раствора кристаллизата, образуемых взаимодействием солевых растворов с газообразным CO₂ [Текст] / В. П. Шаповров, О. А. Лопухина, Ю. А. Иванов // Вестник ХГПУ. – 1998. – Вып. 25. – С. 97–103.**9. Иванов, Ю. А.** Розробка процесу та конструкції карбонізаційної колони, що забезпечують підвищення ступеню утилізації сировини у виробництві кальцинованої соди. Дис. на здобуття наукового ступеня кандидата техн. наук: спец. 05.17.08 «Процеси та обладнання хімічної технології» [Текст] / Ю. А. Иванов // Харків. – 2000. – 140 с.**10. Васильев, М. И.** Интенсификация совмещенных реакционно-массообменных процессов в карбонизационных реакторах содового производства. Дисс. на соискание ученой степени кандидата техн. наук спец. 05.17.08 «Процессы и оборудование химической технологии» [Текст] / М. И. Васильев // Харьков, НТУ «ХПИ». – 2012. – 169 с.**11. Шаповров, В. П.** Влияние начального пересыщения на интегральные характеристики дисперсной фазы, осаждающейся в карбонизационной колонне содового производства [Текст] / В. П. Шаповров, В. М. Титов, Ю. А. Иванов // Вестник ХГПУ. – Харьков. – 1999. – Вып. 28. – С. 49–56.**12. Дворниченко, К. И.** Кристаллизация бикарбоната натрия при карбонизации раствора Na₂CO₃ и NaHCO₃ [Текст] / К. И. Дворниченко // Труды НИОХИМ. – 1958. – Т. 11. – С. 67–89.**13. Кулов, Н. Н.** О некоторых проблемах разделения смесей [Текст] / Н. Н. Кулов // Теорет. основы химической технологии. – 2007. – Т. 41. – № 1. – С. 3–15.**14. Kawase, Y.** Mathematical models for design of bioreactors applications of Kolmogoroff's theory of isotropic turbulence [Text] / Y. Kawase, M. Moo-Yong // Chem Eng. O. – 1990. – №5. – P. 19–41.**15. Карпачёва, С. М.** Пульсационная аппаратура в химической технологии [Текст] / С. М. Карпачёва, Б. Е. Рябчиков. – М.: Химия. – 1983. – 224 с.**16. Шаповров, В. П.** О возможности применения методов нанохимии для анализа и интенсификации химико-технологических процессов [Текст] / В. П. Шаповров, В. В. Себко // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков. – 2012. – №61 (967). – С. 164–175.**17. Иванов, Ю. А.** Исследование кинетики кристаллизации твердой фаз из пересыщенного раствора [Текст] / Ю. А. Иванов, В. П. Шаповров, В. М. Титов, А. Ф. Долкарт // Научн. труды НИОХИМ. Химия и технология производств основной химической промышленности. – 1998. – Т. 61. – С. 82–84.

Bibliography (transliterated):**1. Slinko, M. G.** (2000). Nekotorye tendency razvitiya teorii khimicheskoy tekhnologii. Khimicheskaya promyshlennost, №2 (69), 3–8. **2. Belyaev, E. K.** (1980). Osnovnye napravleniya intensifikatsii processa karbonizatsii sodovogo rastvora v proizvodstve ochishhennogo bikarbonata natriya. Tekhnologiya sody i sodo produktov. Xarkov. tr. NIOXIM, 52, 54–59.**3. Rant, Z.** (1988). Die Eazngung von Soda nach dem Solvay Verfahren. Sarajevo. Forschung sinstitut fur Bergban und Chemishe Technologie Tuzla Rant, 543.**4. Krashennnikov, S. A.** (1986). Tekhnologiya kalcinirovannoy sody i ochishhennogo bikarbonata natriya. Moscow. VSh, 285.**5. Zajcev, I. D., Tkach, G. A., Stoev, N. D.** (1986). Proizvodstvo sody. Moscow. Ximiya, 312.**6. Krashennimikov, S. A.** (1988). Tekhnologiya sody. Moscow. Ximiya, 305.**7. Tkach, G. A., Shaporev, V. P., Titov, V. M.** (1988). Proizvodstvo sody po maloottodnoy tekhnologii. Xarkov. XGPU, 430.**8. Shaporev, V. P., Lopuxina, O. A., Ivanov, Yu. A.** (1988). Modelirovanie processa rosta kristallov iz rastvora kristallizata, obrazuemyx vzaimodejstviem solevyx rastvorov s gazoobraznym SO₂. Vestnik XGPU, 25, 97–103.**9. Ivanov, Yu. A.** (2000). Rozrobka procesu ta konstrukcii karbonizatsijnoi koloni, shho zabezpechuyut pidvishhennya stupenyu utilizatsii sirovini u virobnictvi kalcinovanoi sodi. Dis. na zdobuttya naukovogo stupenya kandidata techn. nauk: spec. 05.17.08 «Procesi ta obladnannya khimichnoi tekhnologii». Xarkiv, 140.**10. Vasilev, M. I.** (2012). Intensifikatsiya sovmeshhennykh reakcionno-massoobmennykh processov v karbonizatsionnykh reaktorax sodovogo proizvodstva. Dis. na soiskanie uchenoy stepeni kandidata techn. nauk spec. 05.17.08 «Processy i oborudovanie khimicheskoy tekhnologii». Xarkov, NTU «XPI», 169.**11. Shaporev, V. P., Titov, V. M., Ivanov, Yu. A.** (1999). Vliyanie nachalnogo peresyshheniya na integralnye karakteristiki dispersnoy fazy, osazhdayshejsya v karbonizatsionnoy kolonne sodovogo proizvodstva. Vestnik XGPU. Xarkov, 28, 49–56.**12. Dvornichenko, K. I.** (1958). Kristallizatsiya bikarbonata natriya pri karbonizatsii rastvora Na₂CO₃ i NaHCO₃. Trudy NIOXIM, 11, 67–89.**13. Kulov, N. N.** (2007). O nekotoryx problemax razdeleniya smesej. Teoret. osnovy khimicheskoy tekhnologii, 41, № 1, 3–15.**14. Kawase, Y., Moo-Yong, M.** (1990). Mathematical models for design of bioreactors applications of Kolmogoroff's theory of isotropic turbulence. Chem Eng. O, 5, 19–41.**15. Karpachyova, S. M., Ryabchikov, B. E.** (1983). Pulsatsionnaya apparatura v khimicheskoy tekhnologii. Moscow: Ximiya, 224.**16. Shaporev, V. P., Sebko, V. V.** (2012). O vozmozhnosti primeneniya metodov nanoximii dlya analiza i intensifikatsii khimiko-tekhnologicheskix processov. Vestnik NTU «XPI». Xarkov, №61 (967), 164–175.**17. Ivanov, Yu. A., Shaporev, V. P., Titov, V. M., Dolkart, A. F.** (1998). Issledovanie kinetiki kristallizatsii tverdoj faz iz peresyshhennogo rastvora. Nauchn. trudy NIOXIM. Ximiya i tekhnologiya proizvodstv osnovnoy khimicheskoy promyshlennosti, 61, 82–84.

Надійшла (received) 27.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Васильев Михаил Ильич – кандидат технических наук, Национальный технический университет «ХПИ», доцент кафедры «Химическая техника и промышленная экология»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002;

Васильев Михайло Ілліч – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «ХПІ», доцент кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; тел.: 095-133-38-36; e-mail: mike_v@i.ua.

Vasyliiev Mykhailo – candidate of Technical Sciences, National Technical University «Kh.P.I.», associate Professor Department of chemical engineering and industrial environment; Frunze 21, Kharkov, 61002;

Пітак Інна Вячеславовна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «ХПИ», доцент кафедры «Химическая техника и промышленная экология»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: ipitak@rambler.ru.

Пітак Інна Вячеславівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «ХПІ», доцент кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002;

Pitak Inna – candidate of Technical Sciences, National Technical University «Kh.P.I.», associate Professor Department of chemical engineering and industrial environment; Frunze 21, Kharkiv, 61002; e-mail: ipitak@rambler.ru.

Шаповров Валерий Павлович – доктор технических наук, Национальный технический университет «ХПИ», профессор кафедры «Химическая техника и промышленная экология»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: himeco@kpi.kharkov.ua.

Шанорев Валерій Павлович – доктор технічних наук, Національний технічний університет «ХПІ», професор кафедри «Хімічна техніка та промислова екологія»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002; e-mail: himeco@kpi.kharkov.ua.

Shaporev Valery – octor of Technical Sciences, National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Professor Department of chemical engineering and industrial environment; Frunze 21, Kharkov, 61002;

Питак Олег Ярославович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «ХПІ», доцент кафедри «Охорона труда и окружающей среды»; ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002; e-mail: ipitak@rambler.ru.

Пітак Олег Ярославович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «ХПІ», доцент кафедри «Охорони праці та навколишнього середовища»; вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002;

Pitak Oleh – candidate of Technical Sciences, National Technical University «Kh.P.I.», associate Professor Department of Occupational Safety and environment; Frunze 21, Kharkiv, 61002; e-mail: ipitak@rambler.ru.

УДК 631.331:633.63

Є. Я. ПРАСОЛОВ, Г. О. ЛАПЕНКО, Т. Г. ЛАПЕНКО, С. А. БЕЛОВОЛ, В. К. ШМИГОЛЬ, Б. М. ШКРЯБУН

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПОКРАЩЕННЯ АГРЕГАТИВ ПО ВИСАДЦІ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ НА ЕЛІТНЕ НАСІННЯ

У статті висвітлені аналіз літературних джерел і патентної інформації й виробничого досвіду та шляхи вдосконалення конструкції та обґрунтування режимів роботи запропонованого висадкосаджального агрегату з контролем та реєстрацією параметрів для визначення кроку висадки маточників цукрового буряка, регульованим внесенням добрив і гранул збереження води. За результатами досліджень обґрунтовано вдосконалення конструкції висадкосаджальної установки, з урахуванням біологічних особливостей розвитку рослин та забезпеченням вищою енергоощадності та економічної доцільності впровадження у виробництво.

Ключові слова: висадкосаджальний агрегат, стимулятори росту, акумульована енергосміність виробництва, циклічно-последовні виміри параметрів.

Вступ. Питання виробництва високоякісної, екологічно безпечної продукції за енергоощадними технологіями є стратегічним для економіки провідних країн Світу, в тому числі, і України. Нині буряківництво та виробництво цукру знаходиться в занепаді. Для подолання такої тенденції слід забезпечити виробника якісним посівним матеріалом та високопродуктивними технічними засобами. Сьогодні в Україну імпортується значна частина посівного матеріалу цукрового буряка [1].

Очевидно, що вітчизняний виробник повністю залежить від імпортного насіння, на яке витрачаються значні кошти. Але, іноземні сорти не адаптовані до природно-кліматичних умов вирощування в Україні, про що свідчить масове ураження коренеплодів некрозом судинної системи, хвостовою гниллю фузаріозного та бактеріального характеру та нематодом. Крім того, вони мають нижчу продуктивність, ніж вітчизняні сорти та гібриди і не придатні до тривалого кагатного зберігання [2 – 5]. Треба враховувати, що збиральні комплекси коренеплодів закордонного і вітчизняного виробництва не адаптовані до очищення листостеблової маси із збереженням зародкових вічок. Це робить неможливим викопування маточних коренеплодів і подальше використання їх у насінництві [4 – 7].

Висадкосаджальні агрегати, що використовуються в господарствах не забезпечують необхідних показників якості, а їх утримання є економічно недоцільним через короткий період експлуатації, високу трудомісткість і низьку продуктивність [2]. Ринкові умови призведуть до експорту готового продукту – цукру та до збільшення обсягів вирощування елітного насіння цукрового буряку.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Для забезпечення потреб вітчизняного буряківництва слід застосовувати інтенсивні технології виробництва насіння. При цьому, трудомісткою і відповідальною операцією є висаджування маточників цукрового буряка, яка раніше виконувалась вручну із затратами праці.

За результатами патентних досліджень за ДСТУ 3575-97 визначені аналоги. Установка для посадки коренеплодів, який містить раму з розміщеним на ній роторним висадковим апаратом, бункер-накопичувач для посадкового матеріалу [3].

Установка транспортування маточного буряка до висадкового апарата, який складається із лоткового та коміркового транспортерів з виштовхувачем коренеплодів із комірок, але відсутня автоматична подача коренеплодів в роторний посадковий апарат.

Установка для посадки коренеплодів, яка має копіювальні колеса і два консольно встановлених на рамі, ротаційно-висадкових механізми, що спираються на копіювальні колеса і мають зміщення одного відносно іншого в горизонтальній площині, з'єднаних між собою поводками; несучі садильні конуси, виготовлені з двох підпружинених створок, оснащених механізмом приводу.

Виконано аналіз виробничого досвіду використання висадкосаджальних агрегатів, результати якого приведені в табл. 1.

© Є. Я. Прасолов, Г. О. Лапенко, Т. Г. Лапенко,

С. А. Беловол, В. К. Шмиголь, Б. М. Шкрябун. 2015

Таблиця 1 – Технічна характеристика серійних висадкосаджальних агрегатів

Назва показника	Значення показників для серійних агрегатів				
	ВПГ-4	ВПУ-4	ВПС-2,8	ВС-2	ВС-4
Марка агрегату	ВПГ-4	ВПУ-4	ВПС-2,8	ВС-2	ВС-4
Рік випуску	1957 – 1967	1973 – 1978	1979 – 1985	з 1986	з 1996
Тип	причіпна	причіпна	причіпна	навісна	напівпричіпна
Привід садильних апаратів	від ВВП	від самозачеплення	від ВВП	від самозачеплення	від самозачеплення
Габарити, мм:					
довжина	5400	5100	6100	2660	3700
ширина	3600	3290	3500	2500	3040
висота	2030	2000	2800	1880	2300
Маса, кг	3050	2842	4020	1020	2800
Крок садіння, см	70	35; 70	70	35; 70	35; 55; 70
Робоча швидкість, м/с:					
крок 35 см;	0,5	0,3	0,3	-	-
крок 55 см;	-	-	-	-	0,45
Крок 70 см;	0,85	0,85	0,8	0,6	0,6
Ширина поворотної зони, м	25	25	22	9	10
Об'єм бункера, м ³	3,5	3,6	3,6	0,1	7,0
Кількість обслуговуючого персоналу, чол.	10	10	5	3	5

Однією із перспективних є розроблена науковцями ДНУ УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого машина для висадки коренеплодів, яка включає бункер, раму, колеса і пристрій для поштучного подавання коренеплодів. Маточники завантажуються у внутрішню порожнину пристрою і за рахунок переміщення на нижніх крайніх зірочках тягових елементів, рухомі рамки вкладаються на пруткове полотно конвеєра, утворюючи з нерухомими двогранний кут, вершина якого направлена у сторону протилежну напрямку руху. Коренеплоди захоплюються, притискуються до нерухомих рамок і подаються вгору [4, 6].

При збільшенні кута нахилу тягових елементів відносно вертикалі не притиснуті коренеплоди падають до бункера. Під час повороту на верхніх напрямних зірочках рухомі рамки, обертаючись на осях, вкладаються на пруткове полотно конвеєра, при цьому притиснуті коренеплоди звільняються і розрідженим потоком подаються в орієнтувальний пристрій. Далі цикл повторюється.

Аналіз науково-технічної та патентної інформації та виробничого досвіду по конструкціям висадкосаджальних агрегатів виявив недоліки: недостатня якість та продуктивність висаджування; неможливість виконувати посадку за різними схемами; не забезпечення стабільності кроку висадки коренеплодів; відсутність контролю та реєстрації параметрів для визначення кроку висадки коренеплодів; не забезпечується економічна подача і внесення поживних речовин, стимулятора росту і гранул зберігання води безпосередньо до коренеплодів.

Для забезпечення отримання елітного насіння цукрового буряка слід врахувати біологічні особливості розвитку кореневої системи коренеплоду.

По даним Г. І. Сокольського буряк першого року потребує: фосфору 7,26 мг, азоту – 22,5 мг, калію – 31,8 мг, а коренеплід цукрового буряка – відповідно 26,8 мг; 138, 3 мг; 145,5 мг. Велику кількість азоту та калію коренеплід потребує в період вегетації. Високі вимоги ставляться до забезпечення коренеплодів вологою. Так, з площі засадженої маточниками цукро-

вих буряків за вегетаційний період витрачається – 17...24 м/га за добу, а з площі зайнятої цукровими буряками першого року – 16...20 м/га. Встановлено, що один коренеплід потребує до 2 дм³ води за добу. Основна частина (до 72 %) кореневої системи розташована на глибині 50 см, з якої рослина отримує понад 90% вологи. Крім того, насінники цукрових буряків характеризуються коротким вегетаційним періодом (90...110 діб) не можуть використовувати вологу від опадів, який припадає на кінець періоду активних температур. Як свідчать дослідження дефіцит вологи в початковий період розвитку насінника є небажаним, оскільки приводить до значного зниження врожайності та посівних якостей насіння [6, 7].

Внесення добрив при висаджуванні коренеплодів сприяє забезпеченню рослин поживними речовинами і керувати процесами їх розвитку для отримання максимальної врожайності і оптимальних показників якості насіння. Внесення добрив безпосередньо в борозну під час висаджування коренеплоду забезпечує мінімальну їх витрату та ефективне живлення рослин. При плануванні норми внесення добрив використовують зональні диференційовані за типами ґрунтів нормативи, які забезпечують потреби рослин у поживних речовинах, збереження родючості ґрунту, економічну доцільність.

Маточники цукрового буряка потребують велику кількість вологи та поживних речовин, тому доцільним є його зрошення безпосередньо перед висаджуванням. При використанні цинку і бору під час зрошення підвищує схожість, якість насіння, цукристість та урожайність буряка. Доза розчину 100...200 л/га. Встановлено, що при одночасному висаджуванні і внесенні рідких добрив оптимальна доза речовини становить 50 л/га, що в три рази від зрошення після посадки [6, 7].

В дослідженнях використовувалась розробка фірми «Махі Марін», офіційний генеральний представник та імпортер в Україні «ПП Теравет-Україна», м. Кіровоград. Гранули збереження води здатні поглинати і утримувати 90% вологи від свого об'єму і мають термін використання в ґрунті до 10 років. При цьому,

вода не змінює властивостей і 95 % накопиченої вологи доступна рослинам. Гранули білого кольору розміром до 200 мк, щільністю 0,5...0,6 г/см³, рН – 6...7 і утримують талу та дощову вологу і раціонально віддають її в період вегетації рослинам. Їх вносять в ґрунт у зону розвитку кореневої системи рослини. Крім того, гранули утримують поживні речовини, що дозволяє раціонально використовувати добрива, а це знижує собівартість виробництва, покращується аерація і дренаж ґрунту через постійне розбухання і стиснення гранул. Після розпаду гранули розкладаються на азотні сполуки – двоокис вуглецю і воду, що збагачує ґрунт на поживні речовини [6, 7].

Ціль та задачі дослідження. Мета статті – дослідження та обґрунтування технологічних аспектів підвищення ефективності виробництва елітного насіння цукрового буряку

Завдання досліджень: вдосконалення конструкції; обґрунтування оптимальних параметрів і режимів роботи висадкосаджального агрегату; технологічне забезпечення контролю та реєстрації параметрів висаджування коренеплодів-маточників з визначеним кроком; обґрунтування технологічних параметрів регульованого внесення поживних речовин та гранул збереження води; визначення економічної ефективності використання акумульованої енергоємності виробництва.

Матеріали та методи дослідження впливу параметрів висадкосаджальної установки на якісні показники технологічного процесу. Для усунення наведених недоліків та дослідження впливу параметрів на якісні показники технологічного процесу висаджування цукрових буряків на елітне насіння розроблена конструкція установки (рис. 1).

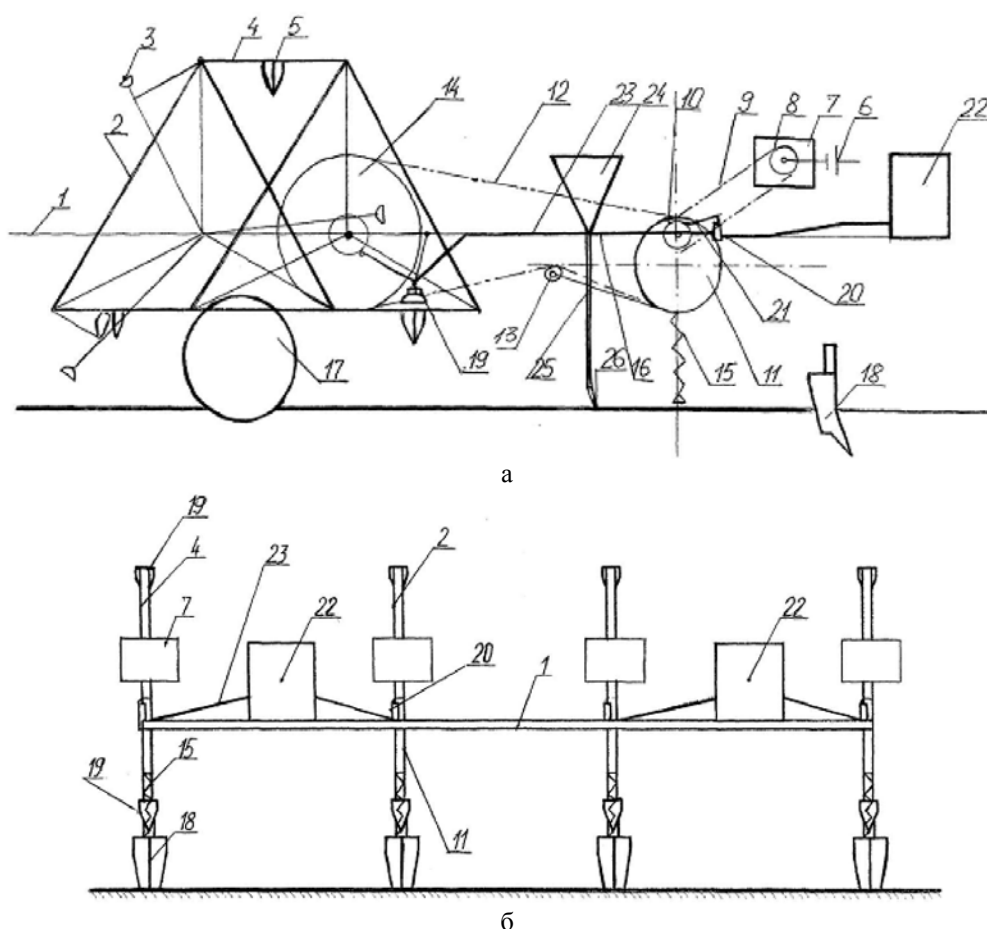


Рис. 1 – Вдосконалена конструкція висадкосаджального агрегату: а – загальний вигляд; б – вигляд збоку

Установка містить раму 1, де розміщено ротативно-висадковий механізм в вигляді рівносторонніх трикутників 2, на останньому є розкривачі 3, зв'язок між трикутниками відбувається за допомогою повідків 4, які тримають садильні конуси 5. Перед трикутником висадкового механізму від вала відбору потужності 6 трактора вмикається редуктор 7 з наявністю ведучої зірочки 8 в коробці передач та ланцюга 9 першої ланцюгової передачі, веденої зірочки 10 та ексцентрикової зірочки 11 та 12 другої ланцюгової передачі, натяжного ролика 13, веденої зірочки 14 другої ланцюгової передачі. Для забезпечення постійного

натягу нижньої частини другої ланцюгової передачі слугує натяжний ролик 13 з пружиною 15 і важелем 16. Зв'язок висаджального механізму з ґрунтом твердістю 0,28 – 1,05 МПа відбувається за допомогою копіювальних ущільнюючих коліс 17 та борзнорозширювача 18 [3, 6].

Виконувався контроль та реєстрація параметрів висадки коренеплодів, який включає циклічно-послідовний вимір значень параметрів об'єкта та запам'ятовування і контролювання справності ланцюгів включення датчиків при визначенні виміру значень параметра, який характеризує стан вимірюваного па-

раметра об'єкта. Додатково включається контроль справності каналів опитування датчиків і контроль при вимірах значень параметра і формування по результатах контролю стану параметра, де відділяються розряди для кожного виду контролю та формування стану параметра [8].

Передбачена система подачі аерозолі із поживних речовин та стимуляторів росту через стакан безпосередньо до коренеплодів діаметром 50 – 120 мм, довжиною 150 – 250 мм, з середньою вагою 2,5 – 4,3 г. Рідина потрапляє до дозатора 20 за допомогою зміни руху зірочки, на якій передбачено виступ, який приводить в рух важіль 21 дозатора 20, що надає можливість дозувати рідину в залежності від швидкості руху механізму і подавати із резервуара 22 по гумовому трубопроводу 23. Мінеральні добрива та гранули зберігання води поступають із висівного апарата, який має двохсекційний бункер 24 з дозувальним механізмом трубопроводу, направляючий наконечник 26 і подається в борозну з глибиною розпушеного ґрунту 300 мм, вологістю 25...40 %, починаючи від верхніх шарів, з нахилом рельєфу поля не більше 10°. Одночасно поживні речовини та стимулятори росту поступають в стакан 27 з кришкою 28 і завдяки внутрішній спіралеподібній поверхні форсунки 29 сумішню речовин в вигляді аерозолі покривається коренеплід [9 – 11].

Технологічний процес здійснюється наступним чином. Борознорозширювачем 18 утворюється борозна, в яку вільно входять садильні конуси 5. При русі рівносторонніх трикутників 2 механізму садильних конусів, при взаємодії з розкривачем 3, висаджується коренеплід в землю, а копіювальне ущільнює колесо 17 фіксує коренеплід в вертикальному положенні, притиснувши його по всьому периметру. Швидкість руху трикутників 2 за один оберт, а також садильних конусів 5 в процесі висадки не постійна і може змінюватися в широкому діапазоні за допомогою ексцентрикової зірочки 11, котра встановлюється на валу з заданим ексцентриситетом при переміщенні її центра по відношенню до осі вала. Таким можна сповільнити рух, зменшити швидкість до повної зупинки садильного конуса 5 в момент заправки в нього коренеплоду, чим забезпечуються сприятливі умови для процесу заправки. Створення висадкового механізму у вигляді рівносторонніх трикутників 2 включає контакт конусів 5 з ґрунтом в момент їх заправки. На установці передбачена система подачі в вигляді аерозолі поживних речовин та стимуляторів росту безпосередньо до коренеплодів 3 [12]. З резервуара 22 рідина по гумовому трубопроводу 23 потрапляє до дозатора 20 за допомогою зірочки 10, де є виступ, завдяки якому приводиться в рух важіль дозатора 21, чим створюється можливість дозувати рідину в залежності від швидкості руху механізму. Доза рідини по трубопроводу направляється до стакана, що рухомо прикріплений до зірочки 1, яка дає змогу опускати стакану в момент подання конуса в потрібне положення, в залежності від руху механізму. Мінеральні добрива та гранули зберігання води за допомогою висівного апарата, який включає двохсекційний бункер 24 з дозувальним механізмом, трубопроводу 25 та направляючий наконечник 26, подаються в борозну. Одночасно поживні речовини та стимулятори росту в рідкому стані

проходять через форсунку 29 з внутрішньою спіралеподібною поверхнею, кришку 28 і входять в стакан 27 в вигляді аерозолі, покриваючи коренеплід.

Експериментальні дослідження виконувались на установці для висадки коренеплодів. Площа ділянки, на якій проводились випробування становила 5 га; тип ґрунту – чорнозем звичайний мало гумусний; глибина попереднього обробітку ґрунту – 300 мм. Глибину вологості ґрунту визначались згідно ГОСТ 20915. Нахил поверхні розпушеного шару визначали з а допомогою металічної лінійки в трьох точках, по діагоналі ділянки. Умови випробування – твердість ґрунту, відносна поля відносно горизонталі 3...5°. Показники висадочного матеріалу: довжину, діаметр, маса коренеплодів визначались із нормативною точністю і розбивались по класам, визначалось середнє значення і записувались в таблицю із достовірністю даних 95 %. Згідно агротехнічних вимог для висаджування використовувались коренеплоди діаметром 50... 120 мм і довжиною 150...250 мм. При дослідженні якості посадки (глибини та щільності) коренеплоди обирались діаметром: дрібні – 50...70 мм; середні – 71...100 мм; крупні – 101...120 мм; і довжиною, відповідно: 150...180 мм; 181...200 мм; 2,21...250 мм.

Результати дослідження впливу параметрів висадкосаджальної установки на якісні показники технологічного процесу. Для визначення впливу параметрів коренеплодів на сводоутворення в бункері встановлювався кут природного нахилу і коефіцієнт тертя ковзання коренеплодів. Коефіцієнт тертя коренеплоду визначали за методом академіка В. А. Желіговського. Коренеплоди укладали на площину і плавно змінювали кут нахилу з точністю до 1°, визначали при якому значенні коренеплоди почали ковзати.

Теоретичні дослідження показали, що крок висаджування коренеплодів задається шляхом вимірювання колової і поступальної швидкості апарату.

Конструкцією установки передбачено задавати крок: а) заміною зірочки з різною кількістю зубів на вихідному валу редуктора; б) зміною поступальної (робочої) швидкості трактора. Досліди проводились за стандартною методикою з використанням середнього розміру коренеплодів. Фактичну швидкість та кількість обертів висаджувального апарату експериментальної установки на кожній передачі визначали по секундоміру при проходженні визначеного шляху. За результатами досліджень будувались графіки (рис. 2), де показана залежність кроку висаджування від кількості обертів висаджувального апарату.

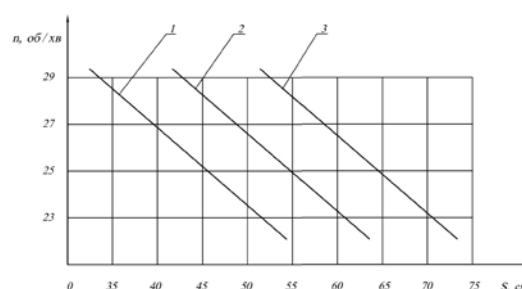


Рис. 2 – Залежність кроку висаджування від кількості обертів висаджувального апарату: 1 – при швидкості агрегату 2,5 км/год; 2 – при швидкості агрегату 3,0 км/год; 3 – при швидкості агрегату 3,6 км/год.

Із графіка видно, що вибраний набір зірочок забезпечує колову швидкість для посадки коренеплодів на крок від 35...70 см. Висаджування коренеплодів з кроком від 55 до 70 см забезпечується при швидкості трактора 3,6 км/год; з кроком 50...55 см – 3,0 км/год; з кроком 35...40 см при 2,5 км/год. Дослідження підтвердили теоретичні передбачення, а відхилення дійсного кроку висаджування від розрахункового пояснюються невідповідністю розрахункових і дійсних швидкостей трактора і обертів вала відбору потужності, що можна врахувати поправочним коефіцієнтом (1,03... 1,13).

Завданням дослідження було встановлення оптимальних розмірів утворюваної борозни і віддалі між ущільнюючими колесами для виконання висаджування із заданою щільністю, зниження навантаження на висадочний механізм, зменшення енергетичних затрат. Спочатку проводилось ущільнення і фіксація коренеплодів копіювальними колесами ($D=400$ мм, $B=10$ мм; $\beta = 15^\circ$) висадочного механізму. Наступний етап ущільнення ґрунту висаджених коренеплодів виконувалось задніми ущільнюючими колесами ($D=700$ мм, $B=150$ мм; $\beta=7^\circ$).

В дослідженнях вивчався вплив відстані між задніми ущільнюючими колесами та щільністю висаджування коренеплодів. Діапазон зміни – через 20 мм від 100 до 180 см створювався регулювальним гвинтом. Аналіз графіка (рис. 3) показав, що при утворенні борозни чернковим ножом щільність посадки збільшується і перевищує верхню межу агротехнічних вимог. Тому, був використаний вдосконалений борозноутворювач з отриманням борозни експлуатаційної ширини. Конструкція борозноутворювача містить чернковий ніж з рухомими і нерухомими створками і виключає перевантаження висаджувального апарату, яке виникає при невідповідності колової і поступальної швидкості. Використання вдосконаленої конструкції борозноутворювача забезпечило виконання агротехнічних вимог по щільності висаджування.

винтом ущільнюючих коліс. Результати досліджень представлені на рис. 3.

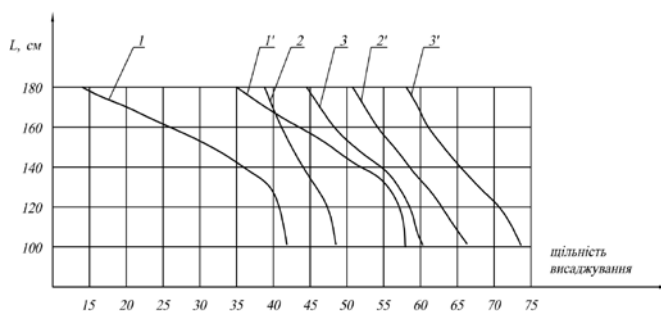


Рис. 3 – Залежність щільності висаджування від відстані між задніми ущільнюючими колесами: 1, 2, 3 – щільність висаджування при утворенні борозни борозноутворювачем для дрібної, середньої і крупної фракції коренеплодів; 1', 2', 3' – щільність висаджування при утворенні борозни чернковим ножом для дрібної, середньої і крупної фракції коренеплодів

При перезволоженні ґрунту якість висаджування погіршується через налипання між колесами, тому відстань між задніми ущільнюючими колесами яка складає 140 ± 5 мм, слід вважати оптимальною. Оцінка

якості ущільнення ґрунту визначалась навколо висадженого коренеплоду з встановленням зусилля пружинним динамометром. Проведені дослідження по визначенню впливу ширини борозни на ущільнення ґрунту навколо коренеплоду при визначеній відстані між ущільнюючими колесами, результати яких представлені графічними залежностями на рис. 4.

Встановлено, що необхідна щільність висаджування дрібних і середніх коренеплодів забезпечується при ширині борозни 110...140 мм тобто витримується вимога – ширина борозни не повинна бути меншою діаметра висаджувального конусу.

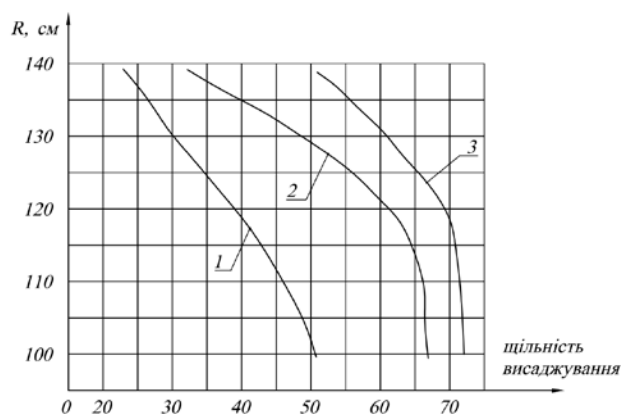


Рис. 4 – Залежність ущільнення ґрунту від ширини утворюваної борозни: 1 – щільність ґрунту навколо дрібних коренеплодів; 2 – щільність ґрунту навколо середніх коренеплодів; 3 – щільність ґрунту навколо крупних коренеплодів

Глибина посадки коренеплодів змінювалась за рахунок: зміни відстані між осями посадочних чотиригранників ущільнюючих коліс висаджувального апарату, що створювалось спеціальним регулювальним гвинтом, в межах 380...460 мм. На рухомому і нерухомому кронштейнах ущільнюючого колеса створювалось градування. В досліді глибина ходу борозноутворювача була постійною (в межах 250 мм). Результати досліджень показані на графіку (рис. 5).

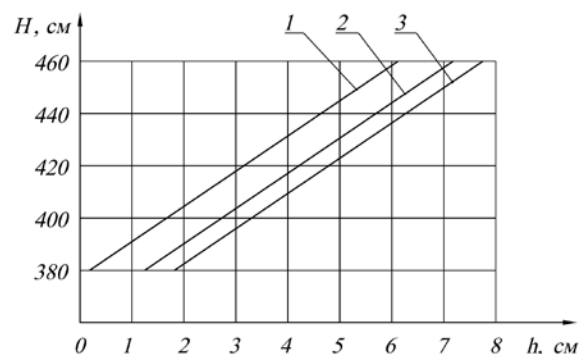


Рис. 5 – Залежність глибини висаджування від відстані між осями відсаджувальних 4-гранників і ущільнюючих коліс: 1 – глибина висаджування для дрібних коренеплодів; 2 – глибина висаджування для середніх коренеплодів; 3 – глибина висаджування для крупних коренеплодів

Аналізу графіку показав, що глибина посадки зростає пропорційно збільшенню віддалі між чотиригранниками. Згідно агротехнічних вимог отримана глибина забезпечується при визначених 405...440 мм.

Це встановлюється для конкретного випадку при пробному висаджуванні. Прослідковується збільшення глибини висаджування в залежності від глибини ходу борозноутворювача. На глибину висаджування коренеплодів впливає глибина борозни. Зміна глибини ходу досягається переустановкою борозноутворювача по вертикалі на кронштейнах кріплення. При постійній міжсосьовій відстані (420 мм) висаджувального апарату змінювався діапазон глибини з інтервалом 30 мм з 200 до 290 мм. Встановлено, що для дрібних коренеплодів збільшення глибини борозни істотно впливає на якість висаджування. При цьому, слід забезпечувати мінімальні енергозатрати при контакті коренеплоду з ґрунтом

В дослідженнях при невідповідності поступальної та колової швидкості висаджувального апарату регулювався кут нахилу гребінкою висаджувального конуса в межах 10...20° із інтервалом 2,5° за допомогою кутоміра. Інші параметри залишались оптимальними. Досліджувався крок висаджування для коренеплодів діаметром 70, 60, 50 і 40 мм.

Результатами досліджень встановлено, що розміри коренеплодів практично не впливають на вертикальність посадки. Оптимальні умови для кожного кроку висаджування вибирались із умови відповідності агротехнічним вимогам – не менше 90% коренеплодів з нахилом до 10°. На рис. 6. результати досліджень представлені кривими розподілу коренеплодів по вертикалі в залежності від кута нахилу висаджувального конуса для крупних коренеплодів із кроком 70 см Встановлено, що кут нахилу висаджувального конуса для встановленого кроку дорівнює – 2,5°.

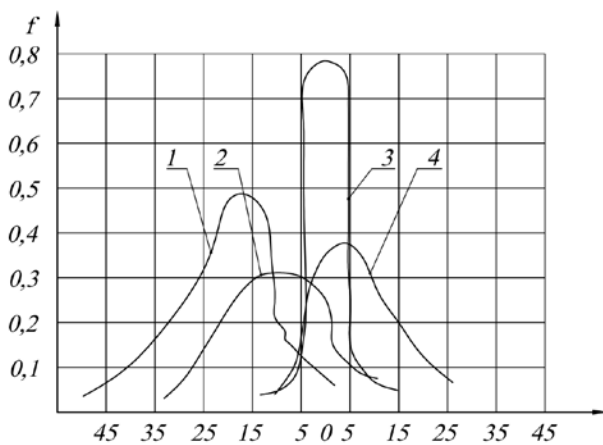


Рис. 6 – Залежність вертикальності висаджування від кута нахилу висаджувального конуса β : 1 – з кутом нахилу висаджувального конуса 2,5°; 2 – з кутом нахилу висаджувального конуса 0°; 3 – з кутом нахилу висаджувального конуса -2,5°; 4 – кутом з кутом нахилу висаджувального конусу 5°

В досліджах використовувались різні розкривачі: одні з гумовою вставкою, інші – з центральним отвором і збільшеним діаметром. В дослідженнях досягнуті оптимальні показники: головка і бокова поверхня коренеплоду можуть мати руйнування до 15 %, в розкривачах з гумовою вставкою. Під час енергетичних досліджень послідовно визначались: 1) тяговий опір:

а) переміщення досліджуваного зразка на холостому ходу; б) черенкових ножів і борозноутворювачів; 2) крутний момент на приводному валу; 3) дійсну швидкість досліджуваного зразка.

В дослідях тягового опору борозноутворювача визначалась залежність від глибини ходу і ширини створюваної борозни (рис. 7, 8).

Вплив ширини борозни на тяговий опір досліджувався при зміні її значення регульовальним гвинтом, з кроком 10 мм в межах 100...140 мм. Графічна залежність представлена на рис. 7. Параметри вибираються залежно від умов та розмірів коренеплодів. Із графіка 8 видно, що тяговий опір зростає зі збільшенням глибини ходу борозноутворювача. На це може впливати глибина передвисадочної культивування.

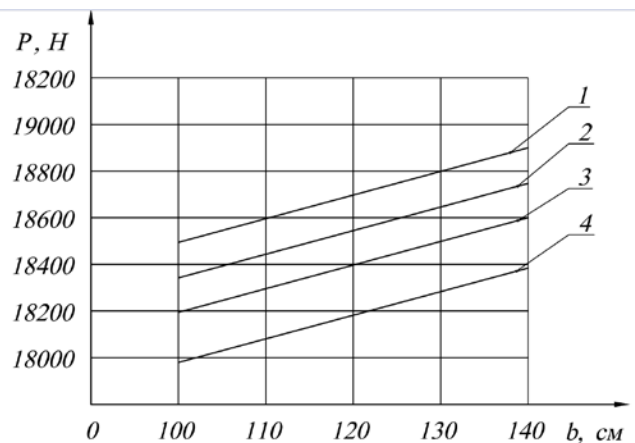


Рис. 7 – Залежність тягового опору борозноутворювачів від ширини борозни: 1 – тяговий опір при ширині борозни 140 мм; 2 – тяговий опір при ширині борозни 120 мм; 3 – тяговий опір при ширині борозни 110 мм; 4 – тяговий опір при ширині борозни 100 мм

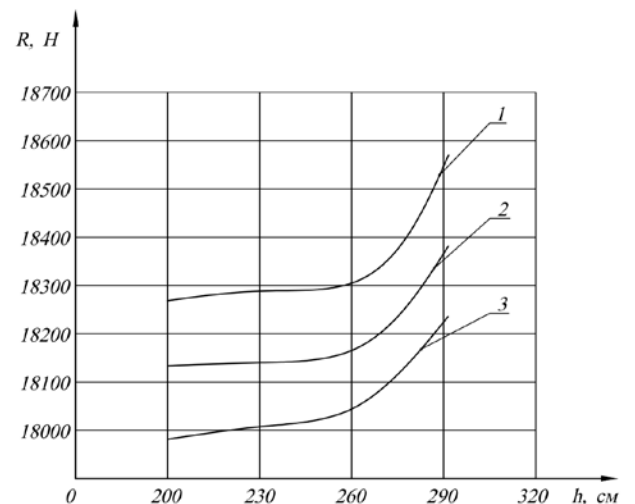


Рис. 8 – Залежність тягового опору борозноутворювачів від глибини борозни: 1 – тяговий опір при глибині борозни 200 мм; 2 – тяговий опір при глибині борозни 250 мм; 3 – тяговий опір при глибині борозни 290 мм

На рис. 9 представлені залежності тягового опору черенкового ножа і борозноутворювача. При роботі борозноутворювача тяговий опір ненабагато вищий, ніж з черенковим ножами, але якість висаджування вища.

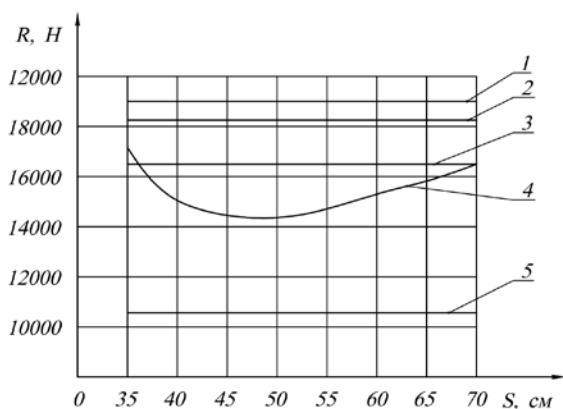


Рис. 9 – Залежність тягового опору від кроку висаджування: 1 – тяговий опір при роботі з борозноутворювачем; 2 – тяговий опір борозни утворювачів; 3 – тяговий опір черенкових ножів; 4 – тяговий опір при роботі з черенковими ножами; 5 – тяговий опір перекочуванню

Залежність крутного моменту на приводному валу машини від кроку висаджування і режиму роботи представлена на рис. 10.

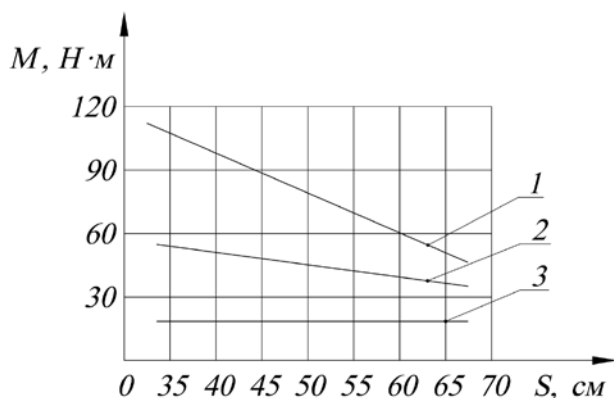


Рис. 10 – Залежність крутного моменту від кроку висаджування: 1 – крутний момент при роботі з черенковим ножем; 2 – крутний момент при роботі з борозноутворювачем; 3 – крутний момент на холостому ходу

При утворенні борозни черенковим ножем крутний момент на приводному валу експериментального зразка висадкосаджальної установки зростає від 40 до 120 $H \cdot m$ зі зменшенням кроку висаджування від 70...35 cm відповідно. При використанні борозноутворювача значно зменшився крутний момент (на 10...15 $H \cdot m$).

В результаті проведених досліджень встановлені оптимальні параметри і режими роботи висаджувального апарату і установки в цілому.

Показники якості висаджування визначались за стандартною методикою. Дослідний зразок установки має можливість змінювати крок висаджування із забезпеченням необхідної якості і дозволяє оптимально використовувати площу живлення залежно від розмірів коренеплодів і конкретних агротехнічних умов. Це дозволяє отримати підвищення урожайності насіння, що підтверджується дослідними даними занесеними в табл. 2.

Таблиця 2 – Урожайність насіння цукрового буряку

Рік досліджень	Висадкосаджальна установка			
	Схема висаджування			
	70×40	70×50	70×60	70×70
	Урожайність насіння цукрового буряку, ц/га			
2012	21,4	22,7	24,3	15,4
2013	34,5	36,3	33,5	31,7
2014	32,4	35,4	38,2	33,6

Виробничі випробування установки показали, що забезпечується: висаджування коренеплодів на крок від 40...70 cm , у відповідності з агротехнічними вимогами; рівномірність та динаміку сходів і розвитку сіменників, з одночасним їх досяганням; сприятливі умови для механізованого збору насіння. Використання гідророзпушувача з механізмом підйому бокових стінок виключило утворення зводів, знизило до мінімуму число пропусків при висаджуванні, скоротило кількість обслуговуючого персоналу. Встановлено оптимальну схему висаджування коренів для Полтавської області 70×50 cm , приріст врожаю при цьому становить 5,4 $ц/га$ в порівнянні з класичною схемою 70×70 cm . Показники якості висаджування визначались відповідно ДСТУ 6053:2008.

Дослідами встановлено, що під час внесення N_{10} , P_{20} , K_{10} безпосередньо в гніздо врожайність підвищилася на 5,7 $ц/га$, що замінило подвійну дозу добрив при культивуванні з одночасним внесенням та знизило відсоток пошкоджень на висадках при значній концентрації та нерівномірності внесення добрив.

Вологість ґрунту визначалася вологоміром на глибині 100 – 180 mm через 12, 20, 40 днів після висаджування, і становила: 81, 78, 72, 69 % відповідно, що є оптимальним для розвитку рослин.

Враховуючи результати досліджень розроблена енергозберігаюча технологія вирощування цукрового буряку на насіння, яка включає послідовність операцій підібраних таким чином, що витрати ресурсів (паливно-мастильних матеріалів, висадочного матеріалу, добрив, гербіцидів, ручної праці, інвестицій, тощо) були мінімально необхідними для забезпечення максимальної врожайності. Цільовою функцією енергозберігаючої технології є зменшення витрат енергоносіїв на питому площу із збільшенням урожайності: $E_c/Y \rightarrow \min$, де E_c ; – питомі витрати сукупних енергоносіїв, $MДж/га$; Y – урожайність насіння цукрових буряків, $ц/га$ [2, 13 – 15].

Енергоємність – відображає накопичення енергії в сільськогосподарській продукції в процесі її виробництва. Для її визначення використовується енергетичний еквівалент, що дорівнює сумі прямих і не прямих витрат енергії, віднесених до одиниці споживаних предметів і засобів праці. Цей показник дозволяє порівнювати ефективність застосування різних енергетичних ресурсів. Наприклад, що є доцільнішим: збільшення норм внесення добрив, або поєднання їх із застосуванням стимуляторів росту та гранул збереження води.

Показник акумульованої енергоємності виробництва цукрового буряку складається із таких енергоносіїв: ресурси, що перетворюються на теплову енергію під час виконання технологічного процесу;

сировина та матеріали; витрати праці; інвестиційні ресурси.

Визначимо витрати енергоносіїв та коефіцієнт енергетичної ефективності операції висаджування цукрових буряків на насіння із використанням дослідної установки. Визначення енергетичних показників установки проводилось згідно ГОСТ Р 52777-2007. Аналіз даних підтверджує, що коефіцієнт енергетичної ефективності – 4,327 спостерігається за урожайності 30 ц/га, енерговитрати на виробництво становлять 29552,8 МДж/га.

Виробничі випробування дослідної установки проходили із використанням способу визначення акумульованої енергоємності для оптимізації технологічного процесу. Для оцінки економічної ефективності впровадження запропонованого способу використовуємо метод економічного оцінювання техніки на етапі випробування приведенного в ДСТУ 4397:2005.

Висновки. Згідно поставленої мети та завдань статті:

- проведено аналіз сучасного стану і визначені проблеми вирощування буряка на насіння в Україні;
- виконано аналіз науково-технічної інформації по створенню та використанню висадкосаджальних машин з виявленням їх недоліків та переваг;
- обґрунтовані конструктивні і технологічні параметри установки для висадки коренеплодів цукрового буряку на насіння;
- встановлено, що раціональними робочими органами які забезпечують необхідну якість висаджування є: ротаційний висаджувальний апарат у вигляді рівносторонніх трикутників з висаджувальними конусами: борозноутворювач з регульованими створами; ущільнюючі колеса з металевими і пневматичними ободами; бункер для коренеплодів з пристосуванням для попереднього сводоутворення; привід для робочих органів здійснюється від валу відбору потужності;
- технічні рішення вдосконаленої установки та способу висадки коренеплодів цукрового буряка на насіння захищені патентами України;
- визначені оптимальні конструктивні параметри висаджувального апарату;
- економічна ефективність визначалась з урахуванням енергетичного еквіваленту, технічне рішення якого захищене патентом України;
- енергоефективна технологія вирощування цукрового буряку на насіння із використанням вдосконаленої конструкції установки для висадки коренеплодів випробувана та впроваджена.

Стаття включає комплексне обґрунтування вдосконалення конструкції висадкосаджальної установки для вирощування цукрового буряка на насіння, з урахування біологічних особливостей розвитку рослин та забезпеченням вимог енергоощадності та економічної доцільності впровадження у виробництво.

Список літератури: 1. Гізбулін, Н. Г. Усе починається з насіння [Текст] / Н. Г. Гізбулін // Цукрові буряки. – №2 (80) – 2011. – С. 16–21. 2. Пат. №60283 Україна МПК А01G7/00 Спосіб визначення акумульованої енергоємності виробництва насіння цукрових буряків [Текст] / Лапенко Г. О., Прасолов С. Я., Калініченко О. В., Макаренко П. М., Писаренко В. В., Сосновська О. О., Браженко С. А. –

№4 201015713 заявл. 27.12.2010, опубл. 10.06.2011 р., бюл. №11. 3. Пат. № 54488 Україна МПК А01С 11/009 А 01N 25/00, А01N 65/90 Установка для подготовки и высадки корнеплодов [Текст] / Лапенко Г. О., Прасолов С. Я., Беловол Ю. Ю., Писаренко П. В., Браженко С. А., Лапенко Т. Г., Лапенко В. Т. – №420106010: заявл. 18052010; опубл. 10.11.2010 р., бюл. №21. 4. Давидюк, В. Механізми відновлення насінництва цукрових коренеплодів в Україні і технічні рішення нової садильної машини [Текст] / В. Давидюк // Техніка і технології АПК. – 2011. – № (25). – С. 26–28. 5. ДСТУ 6053:2008. Буряки цукрові. Садіння коренеплодів маточних. Показники якості та методи їх визначення [Нормативний документ]. – К.: Держспоживстандарт України. – 2010 – 15 с. 6. Лапенко, Г. О. Удосконалення механізму висадки цукрових буряків [Текст] / Г. О. Лапенко, С. Я. Прасолов, Л. В. Знова, Ю. Ю. Беловол // Техніко – технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України; збірник наук. пр. ДНУ “Український наук. – досл. Інститут прогнозування та випробування техніки і технологій с.-г. виробництва ім. Леоніда Погорілого (УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого)”. – Дослідницьке, 2011. – Вип. 15(29). – С. 223–234. 7. ДСТУ 4397:2005. Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробування [Нормативний документ]. – К.: Держспоживстандарт України, 2005. – 16 с. 8. А. с. №42626, СССР; А016904. Устройство для распознавания растений и неоднородностей на почве [Текст] / Н. Г. Сакало, Л. Г. Саало, А. С. Кашурко, В. Г. Кузьминов. – заявл. 189185530-15 від 23.02.73, бюл. № 21. 9. Самойлов, М. А. К обоснованию параметров рабочих органов высадкопосадочных машин [Текст] / М. А. Самойлов, В. М. Крыжко, Д. К. Мельник // Тракторы и сельхозмашины. – 1968. – №8. – С. 15–17. 10. Даньков, В. Я. Стійкість гібридів цукрових буряків різної селекції до хвороб цукрових буряків [Текст] / В. Я. Даньков, П. О. Мельник, М. П. Соломійчук // Цукрові буряки. – 2011. – №3 (81). – С. 20–21. 11. Естратов, А. И. Посадки маточных корнеплодов [Текст] / А. И. Евстратов, И. И. Бартснев, Н. М. Удовиченко // Сахарная свекла. – 2000. – №4 – С. 29–31. 12. Пат. №28356 Україна МПК А01С21/00 Спосіб підживлення цукрових буряків [Текст] / Кирило В. Л., Магуренко А. М., Ганженко О. М., Слободяник В. К., Осадчук В. Д., Кирило А. В. – №4 2007 07261; заявл. 27.06.2007; опубл. 10.12.2007 р., бюл. №20. 13. Доброворцева, А. В. Агротехника сахарной свеклы на семена [Текст] / А. В. Доброворцева. – М.: Агрономиздат, 1986. – 172 с. 14. Интенсивная технология производства высококачественных семян сахарной свеклы [Текст] / Н. Х. Гизбулин, Л. Л. Островский, А. А. Мусиенко, В. Н. Крыжко. – М.: Агропромиздат, 1989. – 192 с. 15. Медведовський, О. К. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій у сільському виробництві [Текст] / О. К. Медведовський, П. З. Іванченко. – К.: Урожай, – 1988. – 208 с.

Bibliography (transliterated): 1. Hizbullin, N. (2011). It all starts with seeds. Tsukrovi Buriaki, 2 (80),16-21. 2. Lapenko, G., Prasolov, Ye., Kalinichenko, O., Makarenko, P., Pisarenko, V., Sosnovskaya, A., Brazhenko, S. (2010). Pat. Ukraine 60283, IPC A01G7 / 00 Method of determining accumulated energy intensity of production of sugar beet seed. Bull. 11. 3. Lapenko, G., Prasolov, Y., Byelovol, Yu, Pisarenko, V., Brazhenko, S., Lapenko, T., Lapenko, V. (2010). Pat. Ukraine 54488, IPC A01S 11/009, A 01N 25/00, A01N 65/90. Installation for preparation and landings Root. Bull. 21. 4. Davydyuk, V. (2011). Mechanisms recovery seed sugar beet and potatoes in Ukraine and new technical solutions setter. Engineering and Technology APC, 25, 26–28. 5. DCTU 6053: 2008. (2010). Sugar beets. Uterine planting root crops. Quality indicators and methods for their determination [Regulations]. Kyiv., Derzhspozhyvstandart Ukraine. 15. 6. Lapenko, G., Prasolov, Ye., Znova, L., Byelovol, Yu. (2011). The mechanism of the landing of sugar beet. Technical - technological aspects of the development and testing of new techniques and technologies for agriculture Ukraine; collection science. pr. DNU "Ukrainian science. – Lit. Institute of forecasting and test equipment and agricultural technologies manufacture them. Leonid Pogorelogo (UkrNDIPVT them. Pogorelogo L.)", 15 (29), 223–234. 7. DCTU 4397: 2005. (2005). Agricultural machinery. Methods of economic evaluation techniques for stage test [Regulations]. Kyiv., Derzhspozhyvstandart Ukraine, 16. 8. Sakalo, N., Sakalo L., Kashurko, A., Kuzminov, V. (1973). A. p. №42626, USSR; A016904. Arrangement for raspoznavanuya plants and inhomogeneities in the soil. Bul, 21. 9. Samoilov, M., Kryzhko, V, Miller, D. (1968). Parameters rationale workers bodies vysadkoposadочных machines. Traktory and selhoz mashyny, 8, 15–17. 10. Dankov, V., Miller, P., Solomiychuk, M. (2011). Stability of different hybrids of sugar beet breeding of sugar beet disease. Sugar beet, №3 (81), 20–21. 11. Estratov, A. Bartsnev, I., Udovychenko, N. (2000). Landing matochnyh korneplodov. Saharan beet, 4, 29–31. 12. Churylo, V., Magurenko, A., Hanzhenko, O.,

Slobodyanyk, V., Osadchuk, V., Churylo, A. (2007). Pat. Ukraine №28356, IPC A01C21 / 00. Method of feeding sugar beets, Bull, 20. **13**.
Dobrovortseva, A. (1986). Ahrtehnika sahar moy beet seeds in. Moscow: Ahronomyzdat, 172. **14**.
Hyzbulyn, N., Ostrovskyy, L.,

Musyenko, A, Kryzhko V. (1989). Yntensyvnaia tehnology production high kachestvennyh semyan sahar moy beet. Moscow, 192. **15**.
Medvedovskaya, D. (1988). Power analysis technology intensive agricultural production. Kyiv, 208.

Надійшла (received) 06.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Прасолов Євген Якович – кандидат технічних наук, Полтавська державна аграрна академія, професор кафедри безпеки життєдіяльності; вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна, 36003, тел.: 095-607-66-97; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Прасолов Евгений Яковлевич – кандидат технических наук, Полтавская государственная аграрная академия, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности; ул. Сковороды, 1/3, м. Полтава, Украина, 36003, тел.: 095-607-66-97; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Evgeni Prasolov – candidate of technical sciences, associate professor, Poltava State Agrarian Academy; Street. Skovorody, 1/3, m. Poltava, Ukraine, 36003 tel.: 095-607-66-97; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru

Лапенко Григорій Олександрович – кандидат технічних наук, Полтавська державна аграрна академія, професор кафедри ремонту машин і технології конструкційних матеріалів; вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна, 36003, тел.: 066-773-73-84; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Лапенко Григорий Александрович – кандидат технических наук, Полтавская государственная аграрная академия, профессор кафедры ремонта машин и технологии конструкционных материалов; ул. Сковороды, 1/3, м. Полтава, Украина, 36003, тел.: 066-773-73-84; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Grigoriy Lapenko – candidate of technical sciences, associate professor, Poltava State Agrarian Academy; st. Skovorody, 1/3, m. Poltava, Ukraine, 36003 tel.: 066-773-73-84; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Лапенко Тарас Григорович – кандидат технічних наук, Полтавська державна аграрна академія, доцент кафедри безпеки життєдіяльності; вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна, 36003, тел.: 095-761-08-24; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Лапенко Тарас Григорьевич – кандидат технических наук, Полтавская государственная аграрная академия, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности; ул. Сковороды, 1/3, м. Полтава, Украина, 36003, тел.: 095-761-08-24; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Taras Lapenko – candidate of technical sciences, associate professor, Poltava State Agrarian Academy; st. Skovorody, 1/3, m. Poltava, Ukraine, 36003 tel.: 095-761-08-24; e-mail: brazhenko_sa@mail.ru.

Беловол Світлана Анатоліївна – кандидат технічних наук, Полтавська державна аграрна академія, старший викладач кафедри машин та обладнання агропромислового виробництва; вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна, 36003, тел.: 095-24-26-918; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Беловол Светлана Анатольевна – кандидат технических наук, Полтавская государственная аграрная академия, старший преподаватель кафедры машин и оборудования агропромышленного производства; ул. Сковороды, 1/3, м. Полтава, Украина, 36003, тел.: 095-24-26-918; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Svetlana Belovol – candidate of technical sciences, Poltava State Agrarian Academy; st. Skovorody, 1/3, m. Poltava, Ukraine, 36003 tel.: 095-24-26-918; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Шмиголь Владислав Костянтинович – студент інженерно-технологічного факультету, Полтавська державна аграрна академія, вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна, 36003, тел.: 066-352-00-34; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Шмиголь Владислав Константинович – студент инженерно-технологического факультета, Полтавская государственная аграрная академия, ул. Сковороды, 1/3, м. Полтава, Украина, 36003, тел.: 066-352-00-34; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Vladislav Shmyhol – a student of engineering and technological faculty, Poltavskaya State-owned agrarnaya academy, st. Skovorody, 1/3, m. Poltava, Ukraine, 36003 tel.: 066-352-00-34; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Шкрібун Богдан Михайлович – магістрант інженерно-технологічного факультету, Полтавська державна аграрна академія, вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, Україна, 36003, тел.: 066-352-00-34; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Шкрібун Богдан Михайлович – магістрант инженерно-технологического факультета, Полтавская государственная аграрная академия, ул. Сковороды, 1/3, м. Полтава, Украина, 36003, тел.: 066-352-00-34; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

Bogdan Shkryabun – mahystrant of engineering and technological faculty, Poltavskaya State-owned agrarnaya academy, st. Skovorody, 1/3, m. Poltava, Ukraine, 36003 tel.: 066-352-00-34; e-mail: belovol_sa@mail.ru.

УДК 621.65:62-9.001.24

І. П. КАПЛУН, М. Б. ОПРИСКО

АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ СТУПЕНІВ СВЕРДЛОВИННИХ НАСОСІВ ДЛЯ ВОДОПОСТАЧАННЯ

Проаналізовано основні параметри ступенів свердловинних насосів для фірм-виробників, що найбільш широко представлені на ринку України. Сформовано зведені графіки основних параметрів ступенів для умовних габаритів 8 та 10 дюймів. За зведеними графіками параметрів ступенів встановлено доцільні межі робочих діапазонів та подач для новостворюваного типорозмірного ряду свердловинних насосів на основі малогабаритних осьових ступенів. Запропоновано обмежити допустиме зниження коефіцієнту корисної дії ступені на границях діапазону на рівні 3 %.

Ключові слова: водопостачання, свердловинний насос, параметри ступеня, типорозмірний ряд, ККД, осьовий ступінь

Вступ. Актуальною проблемою сьогодення в Україні є забезпечення населення якісною питною водою. Диверсифікація джерел водопостачання - життєво важлива необхідність в умовах зростання екологічних небезпек та ризиків виникнення надзвичайних ситуацій. Одним із способів зниження залежності від централізованого водопостачання є використання артезіанських свердловин, частка яких у загальному балансі споживання води постійно збільшується та має значні перспективи до подальшого зростання. Ступені динамічних насосів, що використовуються для підйому води із свердловин, можуть мати різноманітні конструкції та відноситися до різних типів, кожен з яких має свої переваги та недоліки. Відцентрові ступені забезпечують порівняно високі напори при відносно малих подачах, діагональні забезпечують менший напір при більших значеннях подач, але й мають більші осьові габарити та складніші технологічно. Зазначені вище типи ступенів в умовах існуючої тенденції до зменшення радіального габариту свердловинних насосів при одночасному зростанні їх подач мають обмеження, що витікають з їх принципу дії – для здійснення робочого процесу їм необхідна наявність певної різниці радіусів входу і виходу перекачуваної рідини в проточну частину. Відповідно при зменшенні радіальних розмірів та зростанні подачі вони неминуче будуть мати складну тривимірну геометрію каналів, що тягне за собою зниження ККД, погіршення технологічності конструкції, зростання осьових габаритів та маси тощо. У описаних умовах малогабаритні осьові ступені [1, 2], не маючи принципових обмежень в радіальних розмірах (відомі осьові мікронасоси, що вбудовуються в судину серця людини [3]), забезпечують компактну та просту конструкцію, мають порівняні напори та ряд перспективних напрямів щодо покращення основних експлуатаційних показників, в тому числі і підвищення ефективності. Відповідно після виконання комплексу заходів щодо покращення показників малогабаритного осьового ступеня його можливо розглядати в якості бази для створення типорозмірного ряду високопродуктивних свердловинних насосів, призначених для підйому води зі свердловин малого діаметру.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Формування типорозмірних рядів насосного обладнання було [4, 5] і залишається [6] актуальною проблемою, що, як і раніше, постійно привертає увагу проєктантів, зусилля яких спрямовані на зниження витрат при виробництві насосів. Зокрема авторами дослідження [4] пропонується при формуванні типорозмірного ряду спиратися на подачу насоса, взяту з достатньо густого геометричного ряду

бажаних чисел, як на вихідний параметр, а також вводити ряд обмежень. Зокрема рекомендується забезпечувати можливість отримання конструктивного ряду лінійних та кутових розмірів форми проточної частини на основі законів подібності та обмежити максимальний напір однієї ступені, а при виборі потужності насосу спиратися існуючий ряд електродвигунів. Додатково у [5] розглядається доцільність встановлення єдиного ряду зовнішніх діаметрів робочого колеса для спрощення технології виробництва, а необхідні значення напору пропонується отримувати за рахунок обточування та зміни частоти обертання привідного електродвигуна.

Зазначимо, що пряме застосування підходів, використаних у [4, 5], для випадку свердловинних насосів не завжди доцільне в силу специфічних особливостей останніх. Так, зокрема, зовнішній діаметр робочого колеса заглибного насоса конструктивно жорстко обмежений внутрішнім діаметром обсадних труб, тому в одному умовному габариті свердловини він має залишатися постійним. Для малогабаритних осьових ступенів для підвищення технологічності доцільно прийняти також єдине значення діаметру втулки робочого колеса в одному умовному габариті. Відповідно ступені на різні подачі будуть відрізнятися лише лопатевою системою, а необхідні значення напору можливо отримати за рахунок зміни знаку окружної швидкості на вході в робоче колесо.

Очевидно, що для створення типорозмірного ряду необхідно володіти вичерпною інформацією про параметри ступенів представлених на ринку свердловинних насосів та їх зміну в межах рекомендованого виробником робочого діапазону (які визначаються багато в чому потребами споживача) для використання в якості орієнтиру при виборі параметрів для базових типорозмірів осьових ступенів. На ринку України протягом останніх двох десятиліть відбувається поступове заміщення свердловинних насосів, параметри яких знаходяться у відповідності з ГОСТ 10428-89 [7], продукцією зарубіжних фірм, параметри якої для різних виробників мало корелюють між собою і фактично не можуть вважатися стандартизованими. На наш погляд процес заміщення зумовлений низкою об'єктивних причин (суттєво нижча якість вітчизняних насосів за такими ключовими показниками як ефективність і надійність, постійне зростання вартості електроенергії та ін.) та має тенденцію до продовження у майбутньому. Відповідно орієнтуватися при створенні типорозмірного ряду на параметри з ГОСТ 10428-89 виглядає недоцільним, а на міжнародному рівні загальноновизнаного нормативного документа для свердловинних насосів на зразок ISO 2858:1975 [8] за

доступною авторам інформацією на даний час не розроблено. В той же час для заглибних електродвигунів свердловинних насосів загальноприйнятим у світовій практиці є виконання приєднувальних розмірів та ряду потужностей у відповідності до нормативних документів NEMA [9], які можна вважати де-факто міжнародним стандартом, що забезпечує взаємозамінність двигунів різних виробників. Крім того, заглибні електродвигуни мають стандартну частоту обертання 3000 об/хв, що у сукупності з фіксованим рядом потужностей при відомих значеннях подач дає основу для створення ряду напорів свердловинних насосів.

Мета і задачі дослідження. Відповідно до зазначеного вище, першим кроком при проведенні дослідження має бути вивчення досвіду розробки свердловинних насосів та виконання статистичного аналізу параметрів їх ступенів для основних фірм – виробників, представлених на ринку України. В якості наступного кроку можливо розглядати формування на основі отриманої інформації вимог до малогабаритних осьових ступенів та їх параметрів та показників (в тому числі і експлуатаційних) для створення конкурентоспроможного насосного обладнання. Зазначимо, що наведений нижче аналіз не претендує на вичерпність і обмежується фірмами, продукція яких була за думкою авторів найбільш широко представлена на ринку України на момент виконання дослідження.

Методика обробки даних каталогів фірм-виробників. Статистична обробка параметрів ступенів свердловинних насосів виконувалася для наступних фірм-виробників: Calpeda S.p.A., Caprari S.p.A.,

Lowara, Rovatti Pompe S.p.A., SAER Elettropompe S.p.A. (Італія), Wilo SE (Німеччина), Grundfos (Данія), Vogel Pumpen (Австрія). Параметри ступенів були визначені з каталогів, що доступні на офіційних сайтах підприємств. Точність розрахунку параметрів визначалася з одного боку точністю їх зазначення в каталогах, а з іншого – можливістю отримання їх з відповідних графічних характеристик.

Параметри ступенів визначалися у точках, що відповідали режиму максимального ККД. Напір ступені для зменшення похибки визначався за формулою:

$$H_{cm} = \frac{H_{10} - H_5}{5}$$

де H_{10} – напір свердловинного насосу, що має 10 ступенів; H_5 – напір свердловинного насосу, що має 5 ступенів.

Отримані значення параметрів ступенів групувалися в окремі графіки, для вибору прогнозних значень подач для новостворюваного типорозмірного ряду осьових ступенів.

Приклад обробки даних каталогів фірм-виробників. На рис. 1 для прикладу наведені результати опрацювання даних з каталогу свердловинних насосів фірми Calpeda S.p.A. У відповідності до наведених даних, ступені зазначеного виробника забезпечують для 8" та 10" умовних габаритів ряд подач від 70 до 275 м³/год при максимальних напорах відповідно 18 м і 31 м на ступінь та досить помірного рівні ефективності (78-79% та 70 % відповідно). Окремо слід відзначити порівняно високі вимоги до мінімального напору на вході в ступінь (8 та 10 м відповідно).

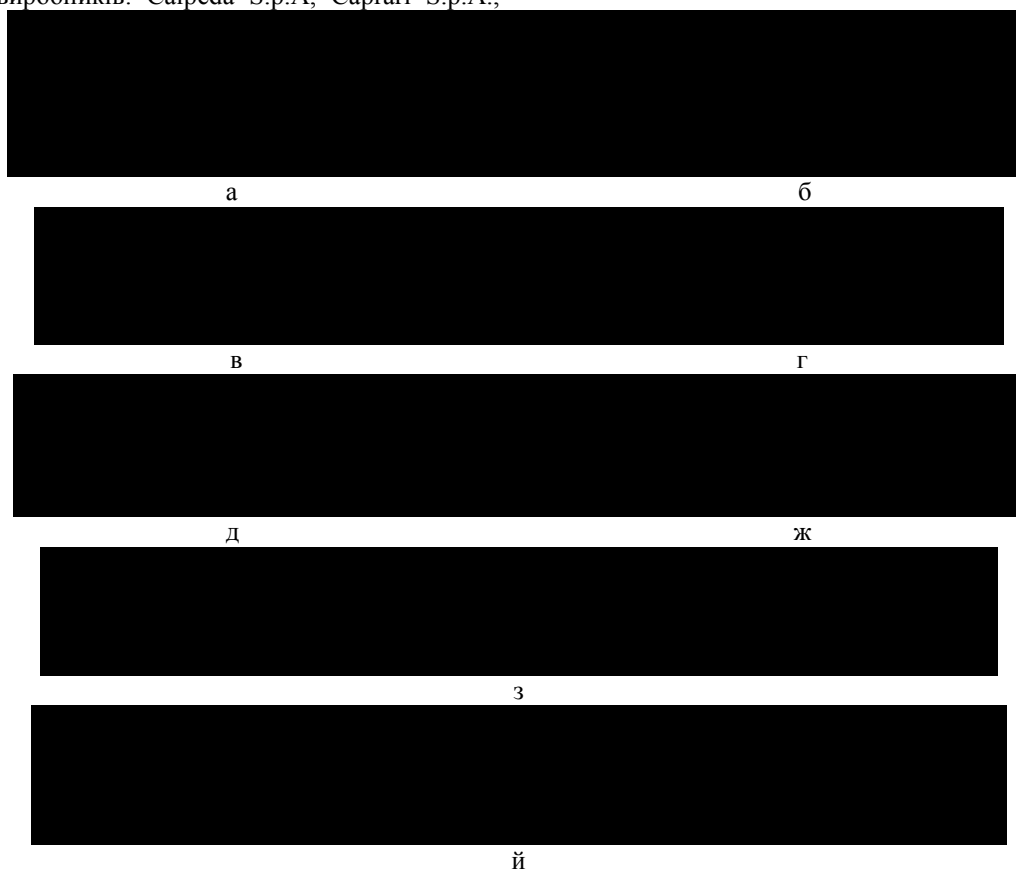


Рис. 1 – Параметри ступенів виробництва фірми Calpeda умовного габариту 8" та 10": а, б – значення напорів $H_{ном}$ в номінальних точках; в, г – значення ККД $\eta_{ном}$ в номінальних точках; д, ж – значення допустимого кавітаційного запасу NPSHr в номінальних точках; з – номери точок на графіках та відповідні їм марки насосів за каталогом; й – діапазони значень параметрів ступенів насосів

Аналіз зведених графіків параметрів ступенів.

З огляду на обмежений об'єм статті результати статистичної обробки наводяться нижче лише у вигляді зведених графіків значень параметрів ступенів для 8'' та 10'' умовних габаритів.

Аналізуючи зведені графіки на рис. 2, можливо визначити кращі значення напору ступеня (Vogel TVS8.3 – 22 м, SAER 181B - 22 м, Wilo NK86 – 20 м), його ККД (Vogel TVS8.4, LOWARA Z125, SAER S181D близько 82%) та допустимого кавітаційного запасу (Grundfos SP 95 – 3,7 м, Vogel TVS8.3 – 4 м, Caprari E8S64 – 4,2 м), які в подальшому доцільно використовувати в якості орієнтиру при створенні типорозмірного ряду осьових ступенів.

Як відомо з [4], загальноприйнятим в насособудуванні допустимим зниженням значення ККД насосу на границях робочого діапазону вважається 5%. Зважаючи на постійне зростання вимог до ефективності насосного обладнання у відповідності до Директив ЄС та нормативних документів EuroPump [наприклад 10, 11], доцільно прийняти для новостворюваного типорозмірного ряду свердловинних насосів на основі осьового ступеня допустиме зниження ККД на границях робочого діапазону на рівні 3%. Експериментальні дані [12] показують, що для малогабаритної осьової ступені у обраному діапазоні значень коефіцієнта швидкохідності ($ns \approx 300..400$) зазначений рівень зниження ККД відповідає робочому діапазону подач з граничними значеннями орієнтовно 0,88 - 1,16 Qопт. Відповідно для отриманого зведеного графіку параметрів ступенів для умовного габариту 8'' для відповідного діапазону подач можливо попередньо орієн-

туватися на три базові ступені з подачами в районі 90, 120 та 150 м³/год.

Аналізуючи зведені графіки параметрів ступенів для умовного габариту 10'' на рис. 3, аналогічно визначаємо кращі значення напору ступеня (SAER S-253A – 38 м, SAER S-252B – 35м, LOWARA Z10150 – 34 м), його ККД (Vogel 10.2TV – 83 %, LOWARA Z125, SAER S181D – 82 %) та допустимого кавітаційного запасу (SAER NR-250C – 4,3 м, Grundfos SP 125, Caprari E10R40 - 4,5 м).

Аналогічно зазначеному вище, для зведеного графіку (рис. 3) для відповідного діапазону подач можливо орієнтуватися також на три базові ступені з подачами в районі 160, 210 та 280 м³/год.

Відповідно при визначених базових подачах та наявному фіксованому ряду потужностей заглибних електродвигунів за нормативними документами NEMA, можливо однозначно визначити мінімальні та максимально досяжні напори насосів для кожного умовного габариту. Приймаючи до уваги, що поширеною практикою для фірм – виробників є комплектація насосів привідними електродвигунами меншого умовного габариту (наприклад двигун 6'' умовного габариту в комплекті з насосом умовного габариту 8''), отримаємо достатньо широкі можливості до забезпечення потреб споживачів.

Для більш точного підбору параметрів насосу до конкретної мережі доцільно додатково використовувати закрутку потоку з різним (додатнім або від'ємним) знаком на вході в робоче колесо, так як можливість виконати обточування для робочих коліс осьового типу відсутня.

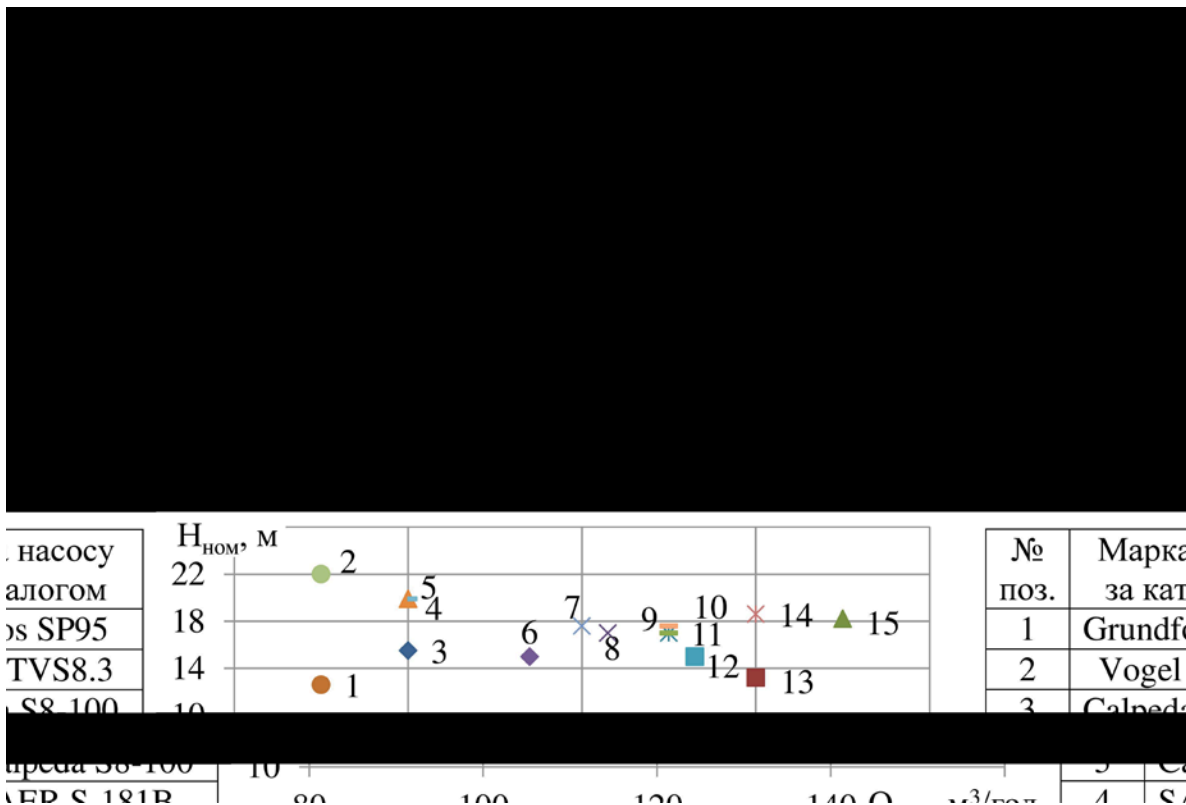


Рис. 2 – Зведений графік значень напорів $H_{ном}$, ККД $\eta_{ном}$, допустимого кавітаційного запасу NPSHr для ступенів насосів умовного габариту 8''

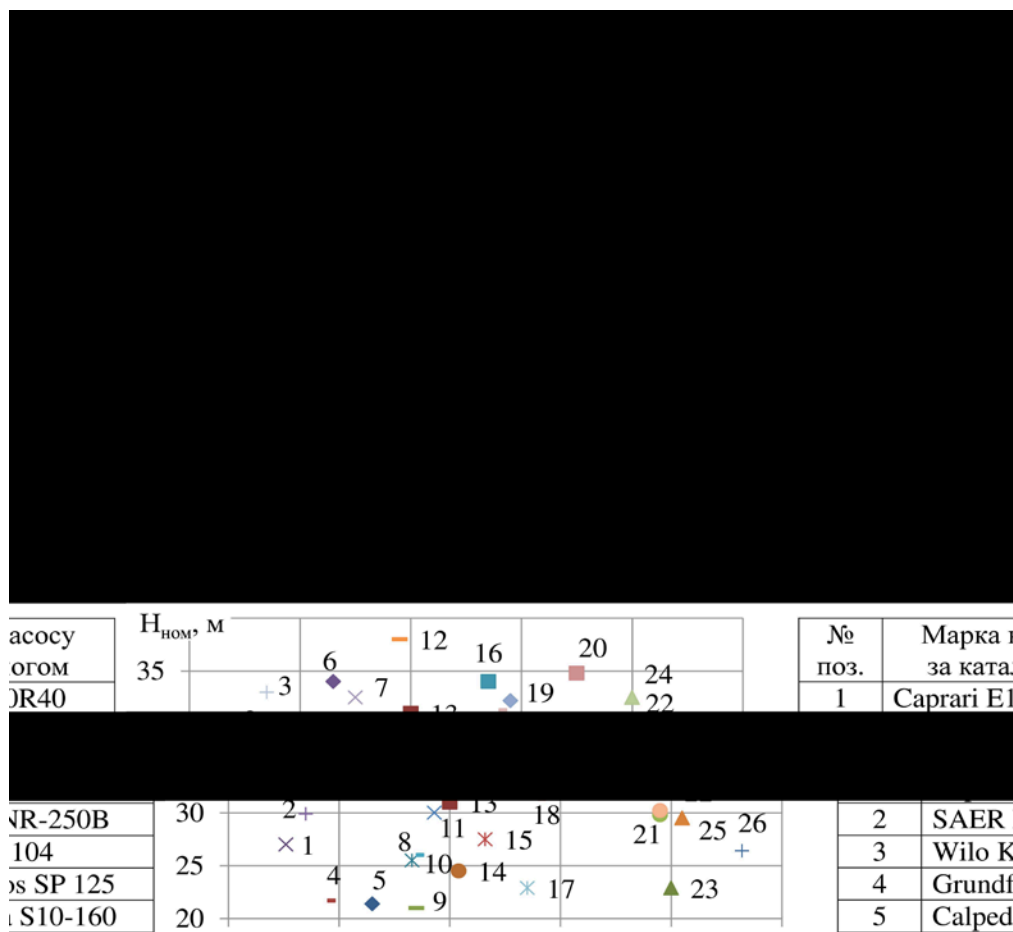


Рис. 3 – Зведений графік значень напорів $H_{ном}$, ККД $\eta_{ном}$, допустимого кавітаційного запасу NPSH_r для ступенів насосів умовного габариту 10''

Висновки. В результаті виконаного статистичного аналізу параметрів ступенів свердловинних насосів було визначено кращі параметри для умовних габаритів 8" та 10", які доцільно використовувати в якості орієнтиру при створенні типорозмірного ряду свердловинних насосів на основі малогабаритних осьових ступенів. На основі даних зведених графіків параметрів попередньо обрані по три базові осьові ступені для умовних габаритів 8" та 10" з подачами 90, 120, 150 м³/год та 160, 210, 280 м³/год відповідно. Отримані значення подач підлягають подальшому уточненню та коректуванню з огляду на необхідність забезпечення можливості перекриття усього діапазону потрібних подач свердловинних насосів з мінімальним зниженням ефективності (не більше 3%) на границях робочої області.

Додатково слід зазначити, що прямої кореляції між зростанням подачі і переходом до діагонального типу робочих органів та рівнем ККД у ступенів свердловинних насосів не спостерігається. Навпаки, у деяких виробників при зростанні подачі рівень ККД знижується до 76-75 %, що надає додаткових переваг осьовим ступеням, що не мають принципових обмежень в радіальних розмірах та рівнях подач.

Список літератури: 1. *Kaplun, I.* Application of small-sized low speed axial stages in well pumps for water supply [Text] / *A. Gusak, O. Demchenko, I. Kaplun* // *Procedia Engineering*. – 2012. – Vol. 39. – P. 35–42. 2. Багатоступінчастий осьовий насос [Текст]: пат. 87142 Україна: МПК F04D 3/00 / *Кaplun, I. П., Матвієнко, О. А., Гусак, О.*

Г.; заявник і власник Сумський державний університет. – № U201309177; заявл. 22.07.13; опубл. 27.01.2014, бюл. № 2. – 5 с. 3. *Frazier, O.* Optimization of axial-pump pressure sensitivity for a continuous-flow total artificial heart [Text] / *O.H. Frazier, Hassan A. Khalil, Robert J. Benkowski, William E. Cohn* // *The Journal of Heart and Lung Transplantation*. – 2010. – Vol. 29, Issue 6. – P. 687–691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.healun.2009.12.017>. = 4. *Федосова, В. И.* Унификация размерных рядов динамических насосов [Текст] / *В. И. Федосова, О. В. Яременко* // *Химическое и нефтяное машиностроение*. – 1989. – №2. – С. 5–7. 5. *Федосова, В. И.* Единый размерный ряд – основа конструктивной унификации динамических насосов / *В. И. Федосова* // *Химическое и нефтяное машиностроение*. – 1989. – №6. – С. 13–15. 6. *Tverdokhle, I.* Creating a Standard Size Range as One of the Factors Reducing Production Time of Modern Pumping Equipment [Text] / *I. Tverdokhle, A. Semenov, A. Ivanyushin, O. Nientsev, A. Rudenko* // *Applied Mechanics and Materials*. – 2014. – Vol. 630. – P. 137–142. <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.137>. 7. ГОСТ 10428-89 Агрегаты электронасосные центробежные скважинные для воды. Основные параметры и размеры [Текст]. – Введ. 1990-01-07. — М. : Изд-во стандартов, 1990. – 27 с. 8. ISO 2858:1975 Насосы центробежные с осевым входом (номинальное давление 16 бар). Обозначение, номинальные параметры и размеры. – Режим доступа: \www/URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:2858:ed-2:v1:en>. 9. NEMA Motor and Generator Standards <http://www.nema.org/Standards/Pages/All-Standards-by-Product.aspx?ProductId=f6107549-40c5-4110-9a4c-dd7215bf1e60> EUROPUMP Guide to Variable Speed Electro Submersible Pumps - May 2008. 10. Europump Guideline on the application of COMMISSION REGULATION (EU) No 547/2012, implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for water pumps – October 2012. 11. *Kaplun, I.* Investigation of Small-Sized Axial-Flow Stage of a Borehole Pump for Water Supply [Text] / *O. Gusak, O. Demchenko, I. Kaplun, A. Kochevsky* // *Proceedings of the 4th International Meeting on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems*. – 2011. – P. 143–150.

Bibliography (transliterated): 1. Gusak, A., Demchenko, O., Kaplun, I. (2012). Application of Small-Sized Low Speed Axial Stages in Well Pumps for Water Supply. *Procedia Engineering*, Volume, 39, 35–42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2012.07.005>. 2. Kaplun, I., Matvienko, O., Gusak, O. (2013). Bagatostupeneyiy osoviy nasos [Multistage axial-flow pump]. Patent Ukrainy No U201010364. 22.07.13. 3. Frazier O.H., Hassan A. Khalil, Robert J. Benkowski, William E. Cohn (2010). Optimization of axial-pump pressure sensitivity for a continuous-flow total artificial heart. *The Journal of Heart and Lung Transplantation*, Vol. 29, Issue 6, 687–691. <http://dx.doi.org/10.1016/j.healun.2009.12.017>. 4. Fedosova, V., Yaremenko, O. (1989). Unifikatsiya razmernykh ryadov dinamicheskikh nasosov. *Himicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*, 2, 5 – 7. 5. Fedosova, V. (1989). Edinyiy razmernyy ryad – osnova konstruktivnoy unifikatsii dinamicheskikh nasosov. *Himicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*, 6, 13–15. 6. Tverdokhleby, I., Semenov, A., Ivanyushin, A., Niemtsev, O., Rudenko, A. (2014). Creating a Standard Size Range as One of the Factors Reducing Production Time of Modern Pumping Equipment, *Applied Mechanics and Materials*, Vol. 630, 137–142.

<http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.630.137>. 7. GOST 10428-89. Centrifugal water well electrically driven pump units. Basic parameters and dimensions. 8. ISO 2858:1975. End-suction centrifugal pumps (rating 16 bar) -- Designation, nominal duty point and dimensions. https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:is_o:2858:ed-2:v1:en. 9. NEMA Motor and Generator Standards <http://www.nema.org/Standards/Pages/All-Standards-by-Product.aspx?ProductId=f6107549-40c5-4110-9a4c-dd7215bf1e60>. EUROPUMP Guide to Variable Speed Electro Submersible Pumps - May 2008. http://europump.net/uploads/Variable_Speed_Electro_Submersible_Pumps_Final_Draft.pdf. 10. Europump Guideline on the application of COMMISSION REGULATION (EU) No 547/2012, implementing Directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to ecodesign requirements for water pumps - October 2012. http://europump.net/uploads/2012_09_12_Guideline_For_547-2012%20FINAL_02%20october2012_clean2b.pdf. 11. Gusak, O., Demchenko, O., Kaplun, I., Kochevsky, A. (2011). Investigation of Small-Sized Axial-Flow Stage of a Borehole Pump for Water Supply. Proceedings of the 4th International Meeting on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, 143–150.

Поступила (received) 10. 11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кaplун Ігор Петрович – кандидат технічних наук, Сумський державний університет, доцент кафедри прикладної гідроаеромеханіки; вул. Римського-Корсакова 2, м. Суми, 40007; e-mail: kaplun@pgm.sumdu.edu.ua.

Кaplун Ігорь Петрович – кандидат технических наук, Сумский государственный университет, доцент кафедры прикладной гидроаеромеханики; ул. Рымского-Корсакова 2, м. Сумы, 40007

Kaplun Igor – candidate of technical science, Sumy State University of Ukraine, associate professor department of applied hydro- and aeromechanics; Rymского-Korsakova 2, Sumy, Ukraine, 40007; e-mail: oprysko89@gmail.com.

Оприско Михайло Богданович – аспірант, Сумський державний університет, Кафедра прикладної гідроаеромеханіки; вул. Римського-Корсакова 2, м. Суми, 40007; тел.: 066-40-650-43; e-mail: oprysko89@gmail.com.

Опрыско Михаил Богданович – аспирант, Сумский государственный университет, Кафедра прикладной гидроаеромеханики; ул. Рымского-Корсакова 2, м. Сумы, 40007; тел.: 066-40-650-43;

Oprysko Mykhailo – PhD student, Sumy State University of Ukraine, The department of applied hydro- and aeromechanics; Rymского-Korsakova 2, Sumy, Ukraine, 40007; тел.: 066-40-650-43; e-mail: oprysko89@gmail.com

УДК 664.83.047.8

С. Ю. ПОПОВА, Р. П. НИКИФОРОВ, А. В. СЛАЩЕВА

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОДЕРЖАННЯ ВИРОБІВ ІЗ ДРІЖДЖОВОГО ТІСТА ПРИСКОРЕНИМ СПОСОБОМ

У роботі запропоновано принципову апаратурну схему технологічного процесу виробництва сухої картопляної добавки (СКД) отриману із вторинних продуктів переробки картоплі (ВППК). На підставі результатів досліджень функціональних властивостей сухої картопляної добавки та її впливу на фізико-хімічні, структурно-механічні, мікробіологічні властивості дріжджового напівфабрикату та готової продукції, а також встановлених режимів та умов її введення у рецептуру запропоновано апаратурне рішення технологічного процесу отримання виробів з дріжджового тіста прискореним способом.

Наведені схеми підібрані для підприємств як великої потужності, так і для пекарень з неповним виробничим циклом.

Ключові слова: вторинні продукти переробки картоплі, суха картопляна добавка, апаратурна схема, технологічний процес, дріжджове тісто.

Вступ. Актуальність даної роботи обумовлена необхідністю створення прискореної технології дріжджового тіста для хлібопекарної промисловості шляхом використання добавки із ВППК як джерела легкозасвоюваних цукрів, що дозволяє форсувати технологічний процес тістоутворення за рахунок попередньої активації дріжджів (ПАД). Використання добавки із ВППК в технологіях хлібобулочних виробів з дріжджового тіста дозволить не тільки раціонально використовувати сировинні ресурси, а й створити прискорену технологію дріжджового тіста без використання небезпечних речовин.

В практиці світового хлібопекарського виробництва економічно розвинених країн все більшого розвитку набуває впровадження нових інтенсивних тех-

нологій, орієнтованих на пекарні невеликої потужності та міні-пекарні. Ці технології більш гнучкі, ніж традиційні, дозволяють оперативно реагувати на вимоги ринку у задоволенні населення свіжими виробами.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Найбільш актуальним в технологіях дріжджових виробів в малих пекарнях, є прискорені способи тістоведіння [1, 2]. Таким чином, розвиток хлібопекарського виробництва за рахунок будівництва малих пекарень є перспективним, а створення нових технологій дріжджових виробів для них є актуальним напрямком.

У технологічній практиці виробництва дріжджового тіста для хлібопекарних виробництв найбільш

актуальним напрямком скорочення виробничого циклу одержання дріжджового тіста відбувається за рахунок активації дріжджів поживними середовищами. Розрізняють хімічні та фізичні способи активації дріжджових клітин.

Так, наприклад, авторами [3] запропоновано спосіб приготування тіста з використанням плазмохімічно активованих водних розчинів.

Відомий спосіб активації дріжджового тіста, що передбачає витримування дріжджів у водному розчині мікробного полісахарида ксампану, взятого в кількості 0,05-0,15 % до маси борошна, при температурі 35 °С протягом 40-60 с. Полісахариди рослинного та мікробного походження сприяють поліпшенню фізико-хімічних та реологічних властивостей тіста, при цьому спостерігається підвищення виходу виробів та уповільнення процесів черствіння [4].

Групою дослідників [5], запропоновано спосіб одержання дріжджового тіста, який включає активацію дріжджів у водно-борошняно-дріжджовій суспензії на основі ячмінного борошна, яку витримують протягом (30...35)·60 с за температури 18...25 °С. Технологічний ефект полягає у скороченні часу бродіння тіста на 20-40 %.

Наступним етапом даної роботи стала розробка принципової апаратурної схеми технологічного процесу виробництва СКД з картопляних відходів, а також її впровадження у виробничих умовах.

Ціль та задачі дослідження. Метою є обґрунтування доцільності впровадження лінії одержання СКД та подальшого її використання у технологіях виробів з дріжджового тіста.

Задачею є удосконалення апаратурної схеми одержання виробів з дріжджового тіста виходячи з виробничих потреб підприємств хлібопекарного виробництва.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

1. Розробити апаратурну схему технологічного процесу одержання СКД із ВППК на лінії виробництва напівфабрикатів із картоплі.

2. Розробити принципову апаратурну схему одержання виробів з дріжджового тіста, прискореним способом, для підприємств як великої потужності, так і для пекарень з неповним виробничим циклом.

Матеріали та методи впровадження удосконаленої технології хлібобулочних виробів із дріжджового тіста. Методичною основою виконання комплексних досліджень є: раціоналізація утилізації ВППК безпосередньо на місці виробництва основного продукту. Удосконалення апаратурної технологічної лінії процесу виробництва хлібобулочних виробів прискореним способом.

Об'єктом дослідження є технологічний процес промислового виробництва виробів з дріжджового тіста для хлібопекарної промисловості.

Для підвищення рентабельності виробництва, скорочення технологічних витрат та втрат, виробничих площ, збільшення виходу продукції, можливості роботи в дискретних умовах тощо, підприємства галузі все частіше застосовують прискорені способи приготування тіста.

Суть прискорених способів приготування тіста полягає в інтенсифікації мікробіологічних, біохіміч-

них та колоїдних процесів, які протікають при дозріванні тіста. Тому удосконалення технологічної лінії виробництва хлібобулочних виробів за рахунок попередньої активації дріжджів адаптованих під підприємства невеликої потужності є актуальним.

Результати досліджень впровадження апаратурного устаткування удосконаленої технології хлібобулочних виробів із дріжджового тіста. В процесі приготування хлібобулочних виробів важливим є не тільки підбір сировини, а і розробка технологічної лінії виробництва та раціональна комплектація обладнання.

Метою нашої роботи є скорочення тривалості виготовлення дріжджового тіста за рахунок ПАД простими цурками, що містяться у СКД. На першому етапі нами було розроблено апаратурну схему технологічного процесу одержання СКД з картопляних відходів. Розроблену апаратурну схему ми пропонуємо встановлювати безпосередньо на підприємствах виробництва напівфабрикатів із картоплі. До основної лінії на етапі одержання картопляних відходів ми пропонуємо встановити подрібнювач, сушарку, кондиціонер, просіювальний апарат, магнітний стовпчик та фасувально-пакувальний автомат для розфасовки СКД.

У запропонованій технологічній лінії (рис. 1) картопля з прийомного бункера зважується на автоматичних вагах (1) та подається елеватором у пастку для каміння (2), де у сольовому розчині з концентрацією 20 % відділяються каміння та інші важкі домішки. Далі бульби спрямовуються у вібраційну мийну машину (3). Картоплю очищують механічно на карборундовій картоплечистці (4) безперервної дії протягом 4-6 хв. Очищені бульби у ротаційному сульфитаторі (5) обробляються розчином бісульфіту натрію (0,1 % у перерахунку на SO₂) протягом 2 хв, потім на стрічковому конвеєрі (6) дочищаються (видаляються вічка і потемнілі ділянки м'якоти) і спрямовуються на збиральний конвеєр (7). 3 конвеєра (7) за допомогою транспортера (8) картопляні відходи подаються у вовчок (9), де вони подрібнюються до пюреподібного стану (при подрібненні у пюре додається розчин лимонної кислоти з дозатора (10)). Далі пюре подається у сушарку (11) де воно розподіляється тонким шаром на поверхні сушильного барабану, зневоднюється протягом визначеного часу до вологовмісту 14 чи 8 % у залежності від запланованих термінів зберігання та знімається з барабанів у вигляді крихких частинок. При виході із сушарки частинки продукту охолоджуються холодним повітрям у кондиціонері (12), подрібнюються на крупинки розміром до 60-100 мкм на подрібнювачі (13), спрямовуються на просіювальний апарат (14) і пропускаються через магнітний стовпчик для вловлювання металевих домішок.

Отриманий продукт розфасовують у пакети з полімерного матеріалу на фасувально-пакувальному автоматі. Пакети укладають у ящики або короби з гофрованого картону. Зберігають СКД у відповідності з ГОСТом 13342-77 при температурі 18-25⁰С та відносної вологості не вище 75-80 %.

На підставі результатів досліджень функціональних властивостей СКД та її впливу на фізико-хімічні, структурно-механічні, мікробіологічні властивості напівфабрикату та готової продукції, а також встановлених режимів та умов її введення у рецептуру за-

пропоновано апаратне рішення технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів прискореним способом (рис. 2). Вироби пропонується виробляти безопарним способом з додаванням СКД на етапі активації дріжджів, що експериментально обґрунтовано у попередніх роботах [6-10].

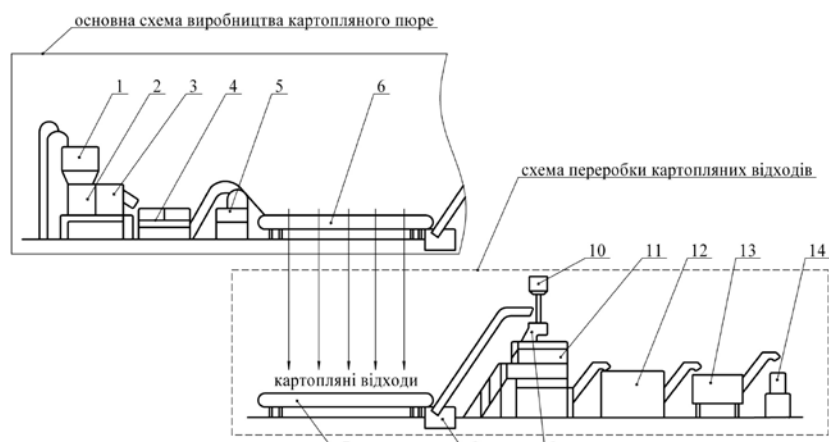


Рис. 1 – Апаратна схема технологічного процесу виробництва СКД із ВППК: 1 – автоматичні ваги; 2 – пастка для каміння; 3 – вібраційна машина; 4 – карборундова картопличастка; 5 – ротаційний сульфитатор; 6 – стрічковий конвеєр; 7 – збиральний конвеєр; 8 – транспортер; 9 – вовчок; 10 – дозатор; 11 – сушарка; 12 – охолоджувальний кондиціонер; 13 – подрібнювач; 14 – просіювальний апарат

Проведення процесу ПАД відбувається у конвекційній діжці для активації дріжджів (2) в яку із дозу-

вальної станції (1) надходять відповідні продукти. Інші рецептурні компоненти подаються до тістомісильної машини (3) із дозаторів (5), замішування тіста проводять протягом 10-12 хв, після чого воно поступає у діжку (6) де відбувається його дозрівання впродовж 60-90 хв. Розділення тіста відбувається машинним способом. Тісто діжоопрокидувачем (7) подається у тісторозділювач (8). Після розділення тістові заготовки відправляються на округлення у округлювач (9). Після округлення тістові заготовки подаються на транспортері (10) у розстоювальну шафу (13). Процес розстоювання триває протягом 5-10 хв при температурі 30-35⁰С. Випікання виробів проводять у пароконвекційній печі (14) при температурі 225-250⁰С, тривалість випікання залежить від маси виробів. Після випікання готові хлібобулочні вироби подаються на циркуляційний стіл (15), звідки вручну укладаються на дерев'яні лотки контейнеру (16). Параметри наведеного технологічного процесу та кількість СКД

можуть бути зміненими у залежності від умов виробництва та якості борошна.

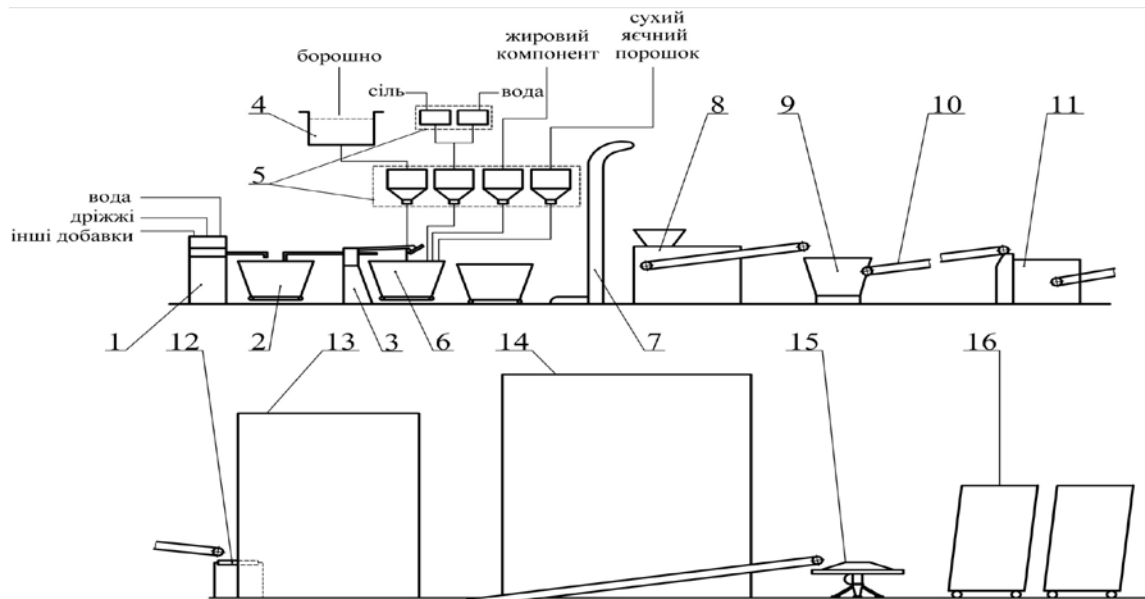


Рис. 2 – Апаратна схема технологічного процесу виробництва дріжджових виробів з використання СКД: 1 – дозувальна станція; 2 – конвекційна діжка для активації дріжджів; 3 – тістомісильна машина; 4 – просіювач борошна; 5 – дозатори; 6 – діжка; 7 – діжоопрокидувач; 8 – тісторозділювач; 9 – округлювач; 10 – транспортер; 11* – закатувальна машина; 12* – укладач; 13 – розстоювальна шафа; 14 – пароконвекційна піч; 15 – циркуляційний стіл; 16 – контейнер; *- апаратне устаткування, що використовують для отримання подових виробів

Обговорення результатів досліджень впровадження удосконалених технологій виходячи з виробничих потреб. Використання СКД в технології хлібопечення дозволяє інтенсифікувати технологічний процес, забезпечити формування необхідних реологічних властивостей напівфабрикатів, забезпечити необхідний напрямок мікробіологічних перетворень

основної сировини під час її дозрівання, розширити асортимент хлібобулочних виробів, нівелювати коливання в певних показниках якості основної сировини. При цьому не виникає питання кардинальної зміни самого технологічного процесу та безпечності готової продукції. Дані схеми (рис. 3) підібрані для підприємств як великої потужності, так і для пекарень, відо-

бражують основні стадії технологічного процесу. Отже, застосування комплексного підходу дає можливість підприємствам впроваджувати, умов, цілей, без необхідності додаткової зміни технологічного процесу та апаратурного оснащення.

Висновки. В результаті проведеної роботи обґрунтовано доцільність удосконалення та раціоналізації апаратурного устаткування на підприємствах хлібопекарної промисловості, а також впровадження лінії одержання СКД на підприємствах виробництва напівфабрикатів із картоплі.

1. Розроблено апаратурну схему одержання СКД із ВППК на лінії виробництва картопляних напівфабрикатів.

2. Розроблено апаратурну схему технологічного процесу виробництва дріжджових виробів з використання СКД.

Список літератури: 1. Пащенко, Л. П. Биотехнологические основы производства хлебоулучшительных изделий [Текст] / Л. П. Пащенко. – М.: Колос, 2002. – 368 с. 2. Дробот, В. І. Технологія хлібопекарського виробництва [Текст] / В. І. Дробот. – К.: Техніка, 2006. – 408 с. 3. Півоваров, О. А. Мікроструктурні особливості тіста на основі розчинів, підданих дії контактної нерівноважної плазми [Текст] / О. А. Півоваров, С. Ю. Миколенко, Г. П. Тищенко // Харчова наука і технологія. – 2012. – № 1 (18). – С. 67–70. 4. Спосіб виробництва дріжджового тіста [Текст]: Пат. 35433 Україна, МПК А 21 D 8/00, 8/02 / Козлова С. Г., Лисюк Г. М., Самохвалова О. В., Гвоздяк Р. І., Воцелко С. К.; заявник та патентовласник Харківська державна академія технологій та організації харчування (Україна). – № 99105595; заявл. 13.10.1999; опубл. 15.03.2001, Бюл. № 2. – 3 с. 5. Спосіб одержання дріжджового тіста [Текст]: Пат. 50178 Україна, МПК А 21 D 8/02 / Сафонова О. М., Гавриш Т. В., Перцевий Ф. В., Панченко І. А.; заявник та патентовласник Сафонова О. М., Гавриш Т. В., Перцевий Ф. В., Панченко І. А. (Україна). – № 2001117630; заявл. 08.11.2001; опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10. – 2 с. 6. Попова, С. Ю. Дослідження фракційного складу цукрів вторинних продуктів переробки картоплі [Текст] / С. Ю. Попова // Східно-

Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 5/6 (77). – С. 23–29. doi:10.15587/1729-4061.2015.51551 7. Попова, С. Ю. Оптимізація процесу попередньої активації дріжджів [Текст] / С. Ю. Попова, Р. П. Никифоров, А. В. Слащева // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 5/4 (25). – С. 29–35. doi:10.15587/2312-8372.2015.51760 8. Попова, С. Ю. Дослідження показників якості та безпеки сухої добавки отриманої із вторинних продуктів переробки картоплі [Текст] / С. Ю. Попова // Наукові праці ОНАХТ. – 2015. – № 48. – С. 68–71. 9. Попова, С. Ю. Дослідження залежності хлібопекарних властивостей пшеничного борошна від концентрації сухої картопляної добавки [Текст] / С. Ю. Попова // Хранение и переработка зерна. – 2015. – № 8-9(195). – С. 59–62. 10. Никифоров, Р. П. Розробка технології прісного листкового напівфабрикату на основі молочної сироватки [Текст] / Р. П. Никифоров, О. В. Сабіров // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2015. – № 3/3 (23). – С. 37–41. doi:10.15587/2312-8372.2015.44154

Bibliography (transliterated): 1. Pashchenko, L. P. (2002). Biotechnologicheskie osnovy proizvodstva khlebobulochnykh izdelii. Moscow: Kolos, 368. 2. Drobot, V. I. (2006). Tekhnolohiia khlibopekarskoho vyrobnytstva. Kyiv: Tekhnika, 408. 3. Pivovarov, O. A., Mykolenko, S. Yu., Tyshchenko, H. P. (2012). Mikrostrukturni osoblyvosti tista na osnovi rozchyniv, piddanniyh dii kontaktnoi nerivnovazhnoi plazmy. Kharchova nauka i tekhnolohiia, 1 (18), 67–70. 4. Kozlova, S. H., Lysiuk, H. M., Samokhvalova, O. V., Hvozdiak, R. I., Votselko, S. K.; assignee: Kharkiv State Academy of Technology and Organization of Nutrition (Ukraine). (2001). Sposib vyrobnytstva drizhdzhovoho tista. Patent of Ukraine № 35433, MPK A 21 D 8/00, 8/02. Appl. № 99105595. Filed 13.10.1999. Bull. № 2, 3. 5. Safonova, O. M., Havrysh, T. V., Pertsevyi, F. V., Panchenko, I. A. (2002). Sposib odzhanntia drizhdzhovoho tista. Patent of Ukraine № 50178, MPK A 21 D 8/02. Appl. № 2001117630. Filed 08.11.2001. Bull. № 10, 2. 6. Popova, S. (2015). Study of the fractional composition of sugars of the secondary products of potato processing. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 5(6(77)), 23–28. doi:10.15587/1729-4061.2015.51551 7. Popova, S., Nykyforov, R., Slashcheva, A. (2015). Pre-activation optimization of the yeast. Technology Audit And Production Reserves, 5(4(25)), 29–35. doi:10.15587/2312-8372.2015.51760 8. Popova, S. (2015). Doslidzhennia pokaznykiv yakosti ta bezpeky sukhoi dobavky otrymanoi iz vtryrnykh produktiv pererobky kartopli. Naukovi pratsi ONAKhT, 48, 68–71. 9. Popova, S. (2015). Doslidzhennia zalezhnosti khlibopekarnykh vlastyvostei pshenychnoho boroshna vid konsentratsii sukhoi kartoplianoi dobavky. Khraneniye y pererabotka zerna, 8-9(195), 59–62. 10. Nykyforov, R., Sabirov, O. (2015). Process design of unfermented puff semi-finished products based on milk whey. Technology Audit And Production Reserves, 3(3(23)), 37–41. doi:10.15587/2312-8372.2015.44154

Надійшла (received) 16.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Попова Світлана Юрійвна – кандидат технічних наук, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, доцент кафедри «Технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи»; вул. Острівського 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50042; тел.: 050-200-09-40;

Попова Світлана Юрьевна – кандидат технических наук, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, доцент кафедры «Технологии в ресторанном хозяйстве и гостиничного и ресторанного дела»; ул. Островского 16, г. Кривой Рог, Украина, тел.: 050-200-09-40;

Popova Svitlana – candidate of technical sciences, associate professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky; 16 Ostrovskogo street, m. Kriviy Rih, Ukraine, 50005; tel.: 050-200-09-40; e-mail: rez_ok@mail.ru.

Никифоров Радіон Петрович – кандидат технічних наук, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, доцент кафедри «Технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи»; вул. Острівського 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50042; e-mail: nikradion@yandex.ua

Никифоров Радион Петрович – кандидат технических наук, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, доцент кафедры «Технологии в ресторанном хозяйстве и гостиничного и ресторанного дела»; ул. Островского 16, г. Кривой Рог, Украина, тел.: 050-473-68-28;

Nykyforov Radion – candidate of technical sciences, associate professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky; 16 Ostrovskogo street, m. Kriviy Rih, Ukraine, 50005;

Слащева Аліна Вячеславівна – кандидат технічних наук, Донецький національний університет економіки і торгівлі імені Михайла Туган-Барановського, доцент кафедри «Технології в ресторанному господарстві та готельної і ресторанної справи»; вул. Острівського 16, м. Кривий Ріг, Україна, 50042; e-mail: sl-alina-2011@ya.ru

Слащева Алина Вячеславовна – кандидат технических наук, Донецкий национальный университет экономики и торговли имени Михаила Туган-Барановского, доцент кафедры «Технологии в ресторанном хозяйстве и гостиничного и ресторанного дела»; ул. Островского 16, г. Кривой Рог, Украина, тел.: 050-938-88-31;

Slashcheva Alina – candidate of technical sciences, associate professor, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsky; 16 Ostrovskogo street, m. Kriviy Rih, Ukraine, 50005

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

УДК 621.3:622:519.24

Б. Б. КОБЫЛЯНСКИЙ, А. Г. МНУХИН

УЧЕТ СТОИМОСТИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА ПРИ РАССЛЕДОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ АВАРИЙ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В статье выделены и проанализированы различные подходы к оценке стоимости жизни человека, определены факторы, влияющие на оценку стоимости жизни человека при анализе тяжелых техногенных аварий в угольных шахтах. На основании данных Макеевского научно-исследовательского института о смертельном травматизме, был проведен численный анализ, определения «стоимости жизни» на предприятиях угольной промышленности Украины.

Ключевые слова: стоимость жизни человека, анализ тяжелых техногенных аварий, угольная промышленность

Введение. Одним из основных критериев оценки техногенного риска на предприятиях повышенной опасности, в частности, предприятиях угольной промышленности, является размер возможного экономического ущерба от аварии. Его структура включает в себя экономический ущерб, обусловленный: прямыми потерями (выход из строя оборудования, зданий, сооружений); затратами, связанные с ликвидацией аварии и её последствий, в том числе экологических, со стоимостью недополученной продукции и др.

Цель работы. Кроме того, немаловажно определение размера компенсационных выплат при травматизме и гибели работников на производстве вследствие аварий и катастроф различного рода. Ситуации, связанные с необходимостью установления стоимости жизни в денежном выражении [1-3], возникают при: разработке законодательства по вопросам жизни и здоровья граждан, охраны труда, социальной защиты работников опасных профессий (военных, сотрудников правоохранительных органов, спасателей, врачей, судей, и др.); обосновании и проведении мероприятий по защите населения от аварий и катастроф техногенного и природного характера, от возможных террористических актов; планировании работы различных аварийных служб (скорой медицинской помощи, пожарной охраны, формирований спасателей и др.), а также правоохранительных органов, органов здравоохранения, страховых компаний и др.; установлении сумм страховых взносов и выплат в случае страхования жизни и здоровья; финансировании и проведении мероприятий по охране труда; анализе безопасности, включающем расчет риска, для объектов энергетики, промышленных и химических предприятий, транспорта и др.; обосновании норм аварийного запаса оборудования и его состава для любой из отраслей хозяйства; формировании бюджета страны и отдельных регионов (установлении направлений и размеров финансовых потоков).

Методика эксперимента. Существуют различные подходы к оценке стоимости жизни человека в денежном выражении, что обуславливается влиянием: политической системы общества; уровнем экономического развития государства; совершенством его законодательной системы и социальной защищенности человека; методикой оценки; возрастом индивидуума; социальным положением; полом; наличием и составом семьи; профессией; условиями труда; уровнями

квалификации и заработной платы; причиной и обстоятельством травмы (смерти) [1-3].

Обсуждение результатов. Методы, используемые для определения стоимости жизни, по смысловому подходу можно обобщить по группам. Причем в ряде случаев методы разных групп взаимосвязаны и используются как составные части. В настоящее время сформировались такие методы определений «стоимости человеческой жизни»: аналогов на основе уже произведенных компенсационных выплат; страховой и биологический метод (по стоимости пересадки человеческих органов); с позиций теории «человеческого капитала» (потеря выгод семьи, общества из-за смерти кормильца, выбытия трудовых ресурсов); косвенного с учетом затрат на предотвращение гибели человека (по сравнению с суммой затрат и числом погибших); по инвестициям, направленным на снижение риска преждевременной смерти отдельного индивидуума (теория Т. Тенесса, США); по готовности физических лиц платить за устранение риска смерти (социологические опросы) и др.

Российскими учеными из ФГУП НТЦ «Промышленная безопасность» были разработаны РД 03-496-02 «Методические рекомендации [3], на базе которых можно рассчитать «стоимость человеческой жизни». В их основе «теория человеческого капитала». В соответствии с ней стоимость человеческой жизни – это выраженная в денежной форме стоимость, измеряемая путем определения чистой приведенной стоимости выгод, которые другие лица (супруг, супруга, зависимые лица, иждивенцы, партнеры, работодатели) могли бы разумно ожидать от будущих усилий индивида, чья жизнь оценивается. Среднюю «стоимость человеческой жизни» можно определить по формуле:

$$S = \Pi + \Pi \text{ г}, \quad (1)$$

где Π – недопроизведенный валовый внутренний продукт (ВВП), тыс. грн;

$$\Pi = (ВПП / Чзэ - 12 \cdot Зс)(Вн - Вс), \quad (2)$$

Π – сумма затрат, связанных с гибелью человека, тыс. грн. $Чзэ$ – число занятых в экономике; $Зс$ – средняя зарплата; $Вн$ – средний пенсионный возраст в отрасли; $Вс$ – средний возраст погибшего.

Для дальнейшего численного анализа, имеющего конечную цель определения «стоимости жизни» на предприятиях угольной промышленности Украины, авторами использовались данные МакНИИ о смертельном травматизме за ближайший полный календарный год, т.е. за 2004 г. Проверка исходных положений методами математической статистики [4] показала, что как стаж работы t , так и возраст T погибших в 2004 г. могут быть описаны с помощью нормального закона распределения с характеристиками, приведенными в табл. 1. Массивы статистических данных (t и T) имеют между собой значительную корреляционную связь, определяемую коэффициентом парной корреляции $r_{t,T} = 0,971$. Взаимозависимости t и T , могут быть описаны, как

$$t = 1,0214 \cdot T - 18,94 ; \quad (3)$$

$$T = 0,9239 t + 19,663 . \quad (4)$$

С учетом же доверительного интервала, определенного при 95%-м уровне значимости, уравнения имеют вид (табл. 1.):

$$t = 1,0214 \cdot T - 21,25; \quad (5)$$

$$T = 0,9239 t + 21,81. \quad (6)$$

Таким образом, становится возможным решить задачу при наличии одной выборки из данных,

например t или T . Далее, затраты, связанные с гибелью человека ($Пг$), находятся по формуле

$$Пг = S_{пг} + 12 \cdot 3c \cdot Чи \cdot (18 - Вси) / (1 + Чи), \quad (7)$$

где $S_{пг}$ – средние расходы по выплате пособий на погребение погибших; $Чи$ – число иждивенцев на 1 занятого в экономике; $Вси$ – средний возраст иждивенцев.

Таблица 1 – Статистические параметры стажа и возраста погибших

Параметры	X_{min}	X_{max}	\bar{X}	σ
t , лет	1,75	46,00	20,37	10,08
T , лет	20,00	63,00	38,49	9,59

Рассчитаем среднюю стоимость человеческой жизни в Украине по угольной отрасли (табл. 2). Необходимо отметить, что формула не учитывает женодомохозяек, находившихся на иждивении у погибших, поэтому затраты, связанные с гибелью людей, будут несколько (до 5%) выше.

Как видно из табл. 2. в Украине «стоимость человеческой жизни» получилась небольшая по сравнению с другими странами мира. Самые крупные суммы из расчета на одного погибшего (1,85 млн. дол.) были выплачены семьям погибших при гибели самолета авиакомпании «Pan American» над Локерби в 1988 г. Косвенные оценки по непрямым затратам варьируются от 50 тыс. до 12,1 млн. дол.

Таблица 2 – Расчет средней стоимости жизни человека

№ п/п	Наименование показателя	Результат
1.	Внутренний валовый продукт – стоимость готовой продукции (угля), млн. грн.	8135,9
2.	Число занятых в экономике (численность работников угольной промышленности), тыс. чел.	580
3.	Средняя зарплата (угольной отрасли), грн.	868,90
4.	Средний пенсионный возраст в угольной отрасли, лет	45
5.	Средний возраст погибшего, лет	38,49
6.	Недопроизведенный ВВП, тыс. грн.	23,44
7.	Средние расходы по выплате пособий на погребение, грн.	837
8.	Число иждивенцев на одного занятого в экономике	0,67
9.	Средний возраст иждивенцев, лет	12
10.	Затраты, связанные с гибелью человека, тыс. грн.	25,94
11.	Средняя «стоимость человеческой жизни», тыс. грн.	49,38

Примечания №1, 2, 3, 8 – данные Госкомстата Украины; №4 – принят исходя из необходимого стажа в угольной отрасли – 20 лет; №5, 9 – сделан расчет на основе данных, полученных из актов расследования аварий на угольных шахтах (МакНИИ) за 2004 г. (№9 – в расчет приняты лица, не старше 23 лет); №7 – согласно законодательству Украины.

В случае установления ущерба с выделением отдельных составляющих выполняют расчет каждой из них: трудовые потери; заработная плата работникам, принявшим участие в оказании помощи пострадавшему; доставка пострадавшего в лечебное учреждение; расследование несчастного случая; расходы на обучение и образование пострадавшего; на обучение нового работника; на пенсии нетрудоспособным членам семьи; на единовременные пособия; на похороны; на простой машин и механизмов; на ремонт поврежденного оборудования; материальные потери из-за отрицательного влияния несчастного случая на психологический климат в коллективе и на снижение производительности труда; доплаты до среднего заработка недоработанной смены и при пе-

реводе на легкую работу; уход за инвалидом; лечение и ВТЭК; компенсация неиспользованного отпуска и протезирование; на транспортное средство для инвалида; выплаты по больничному листу; пенсия инвалиду труда, продолжающему работать на предприятии; регрессные иски пострадавшему или семье; пособия по переквалификации; прочие расходы.

В разных отраслях хозяйства методики учитывают приведенные составляющие с различной полнотой, поэтому оценки, получаемые по различным методикам, могут не совпадать. К тому же при изменении цен и ценовой политики происходит перераспределение значимости отдельных составляющих: те, что ранее не принимались во внимание, могут приобрести значительный вес в суммарном ущербе.

Следовательно, предпочтительнее применять методики, наиболее полно учитывающие составляющие ущерба.

Анализ показывает, что оценки стоимости жизни по «методике определения ущерба народного хозяйства от травматизма (гибели) людей (определение экономического эффекта от сохранения жизни)» наиболее полно отражают все стороны человеческой деятельности, обстоятельства травмирования или гибели, причинения индивидууму физических и нравственных страданий в связи с перенесенной потерей или травмой. Диапазон оценок, полученных различными методами, в России равен от 130 дол. до 397,1 тыс. дол., в других странах – от 800 дол. до 11, 65 млн. дол. Как правило, за рубежом применяют оценку стоимости жизни, равную 300 тыс. дол. Именно такую оценку, на наш взгляд, следует использовать в качестве базовой в целях определения компенсационных выплат по решению суда, в технико-экономических расчетах, при страховании и решении других задач. Однако при оценке стоимости жизни возможен «двойной стандарт» для своих граждан и иностранных.

Выводы. На основании анализа можно сделать вывод, что «стоимость человеческой жизни» определяется в первую очередь благосостоянием нации, семейным положением погибшего и финансовым положением предприятия. В Украине данное научное направление только начинает развиваться, но процесс его становления неотвратим, поскольку лишь с помощью указанной методологии можно адекватно оценить ущерб от техногенных и иных аварий, в том числе от социальных катастроф, точно учесть материальную сторону предлагаемых научных и просто технических решений, т.е. оптимизировать планирование как путем минимизации затрат, так и снятия общественной напряженности.

Список литературы: 1. Васильева, Е. В. Диагностика качества жизни населения регионов России [Текст] / Е. В. Васильева, И. А. Гурбан // Вестник Тюменского государственного университета. – 2010. – № 4. – С. 186–192. 2. Коришун, Л. А. Прогнозирование по-

казателей качества жизни методами нелинейной динамики [Текст] / Л. А. Коришун, И. А. Лыков, Н. Л. Никулина // Уровень жизни населения регионов России. – 2010. – № 9. – С. 108–112. 3. Кушлин, А. А. Социально-демографическая безопасность регионов России. Проблемы диагностики и прогнозирования [Текст] / А. А. Кушлин, А. В. Черепанова, Е. В. Некрасова // Народонаселение. – 2009. – № 2 (44). – С. 121–133. 4. Востросаблин, А. Сколько стоит Ваша жизнь? [Текст] / А. Востросаблин // Домашний адвокат. – 2003. – № 23. 5. Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах: РД 03-496-02 [Электронный ресурс]. – М., 2002. 6. Мнухин, А. Г. Защита электрических сетей шахт от коммутационных перенапряжений [Текст] / А. Г. Мнухин, Б. И. Коневский. – М.: Недра, 1987. – 143 с. 7. Putting A Price On Human Life [Electronic resource]. – 2013. – Available at: <http://www.forbes.com/sites/robertpearl/2013/10/24/putting-a-price-on-human-life/>. 8. Kathleen, K. The Value of a Human Life [Electronic resource] / K. Kathleen. – Time, 2008. – Available at: <http://content.time.com/time/health/article/0,8599,1808049,00.html>. 9. Natalie, W. What's the Dollar Value of a Human Life? [Electronic resource] / W. Natalie. – Livescience, 2011. – Available at: <http://www.livescience.com/15855-dollar-human-life.html>. 10. Frank, P. The Cost of a Human Life, Statistically Speaking [Electronic resource] / P. Frank. – Globalist, 2012. – Available at: <http://www.theglobalist.com/the-cost-of-a-human-life-statistically-speaking/>

Bibliography (transliterated): 1. Vasil'eva, E. V., Gurban, I. A. (2010). Diagnostika kachestva zhizni naselenija regionov Rossii. Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta, 4, 186–192. 2. Korshunov, L. A., Lykov, I. A., Nikulina, N. L. (2010). Prognozirovanie pokazatelej kachestva zhizni metodami nelinejnoj dinamiki. Uroven' zhizni naselenija regionov Rossii, 9, 108–112. 3. Kuklin, A. A., Cherepanova, A. V., Nekrasova, E. V. (2009). Social'no-demograficheskaja bezopasnost' regionov Rossii. Problemy diagnostiki i prognozirovanija. Narodonaselenie, 2 (44), 121–133. 4. Vostrosablin, A. (2003). Skol'ko stoit Vasha zhizn'? Domashnij advokat, 23. 5. Metodicheskie rekomendacii po ocenke ushherba ot avarij na opasnyh proizvodstvennyh ob'ektah: RD 03-496-02 (2002). Moscow. Available at: <http://meganorm.ru/Index2/1/4293854/4293854566.htm>. 6. Mnuhin, A. G., Konevskij, B. I. (1987). Zashhita jelektricheskikh setej shaht ot kommutacionnyh perenaprjazhenij. Moscow: Nedra, 143. 7. Putting A Price On Human Life (2013). Available at: <http://www.forbes.com/sites/robertpearl/2013/10/24/putting-a-price-on-human-life/>. 8. Kathleen, K. (2008). The Value of a Human Life. Time. Available at: <http://content.time.com/time/health/article/0,8599,1808049,00.html>. 9. Natalie, W. (2011). What's the Dollar Value of a Human Life? livescience. Available at: <http://www.livescience.com/15855-dollar-human-life.html>. 10. Frank, P. (2012). The Cost of a Human Life, Statistically Speaking. – Available at: <http://www.theglobalist.com/the-cost-of-a-human-life-statistically-speaking/>.

Поступила (received) 25.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кобылянский Борис Борисович – Кандидат технических наук, Учебно-научный профессионально-педагогический институт Украинской инженерно-педагогической академии, доцент кафедры охраны труда и экологической безопасности; ул. Университетская, 16, г. Харьков, Украина, 61003; тел.: 050-025-29-06;

Кобиланський Борис Борисович – Кандидат технічних наук, Навчально-науковий професійно-педагогічний інститут Української інженерно-педагогічної академії, доцент кафедри охорони праці та екологічної безпеки; вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003; тел.: 050-025-29-06;

Kobilyansky Boris Borisovich – PhD tehnycheskyh Sciences, Teaching and Research Professional Pedagogical Institute Ukrainian engi-neering and Pedagogical Academy, assistant professor of occupational and environmental safety; st. Universytets'ka, 16, Khar'kov, Ukraine, 61003; tel.: 050-025-29-06; e-mail: b.kobiliansky@yandex.ua.

Мнухин Анатолий Григорьевич – доктор технических наук, профессор, Запорожская Государственная Инженерная Академия, заведующий научно-исследовательской лабораторией Запорожской Государственной Инженерной Академии; пр. Ленина, 226, г. Запорожье, Украина, 69000; тел. 050-501-68-27; e-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

Мнухін Анатолій Григорійович – доктор технічних наук, професор, Запорізька Державна Інженерна Академія, завідуючий науково-дослідної лабораторії Запорізької Державної Інженерної Академії; пр. Леніна, 226, м. Запоріжжя, Україна, 69000; тел. 050-501-68-27; e-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

Mnukhin Anatoly Grigorievich – Dr. Eng., Head of the research laboratory of the Zaporozhye State Engineering Academy; pr. Lenina, 226, Zaporozh'ye, 69000, Ukraine; tel. 050-501-68-27; e-mail: anatoly.mnukhin@gmail.com

УДК 614.838.001.18

А. П. КОВАЛЕВ, И. И. МОСКВИНА

О ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ВЗРЫВОВ В ПОМЕЩЕНИЯХ, ГДЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ БЫТОВОЙ ГАЗ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ 0,4/0,22 КВ

На основе регулярных однородных марковских процессов с дискретным числом состояний и непрерывным временем, предложена математическая модель, с помощью которой возможно оценить взрывобезопасность помещений, в которых используется бытовой газ и сети 0,4/0,22 кВ с учетом: частоты появления взрывоопасной концентрации; длительности её существования; объема помещения; выделяемого объема газа; расхода воздуха в результате естественной вентиляции; изменения концентрации метана в течении времени; а также от частоты появления электрического источника поджигания и длительности его существования.

Ключевые слова: взрыв газа, метановоздушная смесь, взрывобезопасность, опасный электрический источник, марковские процессы.

Введение. Аварии с «тяжкими» последствиями, которые ежегодно происходят в различных странах мира, привели к тому, что Организация Объединенных наций 17 августа 1990 года создала рабочую группу для разработки документа «Конвенция о трансграничном воздействии промышленных аварий», который был принят ООН в 1992 году [1]. В статье 14 этого документа говорится о том, что государства, которые входят в ЕЭС, по мере необходимости выступают с предложениями о сотрудничестве в области проведения исследований и разработки методов и технологий, способных предотвратить аварии техногенного характера, обеспечить готовность к ним и ликвидацию их последствий.

Поэтому работы, направленные на прогнозирование и оценку уровня взрывобезопасности технологических и бытовых объектов при их эксплуатации являются весьма актуальными.

Анализ статистических данных и постановка проблемы. Государственная служба горного надзора и промышленной безопасности Украины сообщила, что в 2010 году при использовании газа в быту пострадало 284 человека, при этом погибло 115. В России с 2008 по 2013 года при использовании бытового газа в жилом секторе погибло 305 человек.

Приведенные данные о гибели людей в Украине и России в помещениях, где используется бытовой газ и эксплуатируются низковольтные сети 0,4/0,22 кВ свидетельствуют о том, что проблема по обеспечению взрывобезопасности этих объектов полностью на сегодняшний день не решена.

Цель и постановка задачи исследования. Разработка математической модели процесса формирования взрывов в помещениях, где используется бытовой газ и электрические сети 0,4/0,22 кВ.

Предположим, что взрыв в помещении происходит при совпадении в пространстве и времени двух случайных событий: появления взрывоопасной метановоздушной смеси и опасного источника зажигания [2].

Под опасным состоянием газовой смеси будем понимать случайную загазованность помещения с течением времени до взрывоопасной концентрации. Под опасным источником зажигания будем понимать: электрическую искру (дугу), мощность и длительность которой достаточна для воспламенения взрывоопасной концентрации метановоздушной смеси в помещении.

Пусть имеется газифицированное помещение объемом W , (м^3). Объем выделяемого в помещение га-

за (метана) из-за утечек в газопроводе, его арматуре либо из-за случайно открытых конфорок газовой плиты (медленное поступление газа в помещение) обозначим через q_1 , ($\text{м}^3/\text{мин}$). В результате естественной вентиляции в помещение поступает свежий воздух, расход которого q_2 , ($\text{м}^3/\text{мин}$). С течением времени t изменяется концентрация метана $C(t)$, (в % об.) в помещении. В помещении эксплуатируется электрическая сеть 0,4/0,22 кВ.

Представим изменение состояния атмосферы в газифицированном помещении с помощью случайной функции $\xi_1(t)$, которая может принимать два значения: 0 – в помещении отсутствует опасная газоздушная смесь; 1 – в помещении образовалась опасная метановоздушная смесь.

Характер изменения функции $\xi_1(t)$ с течением времени следующий: существуют чередующиеся отрезки времени $\xi_{11}^{(0)}, \xi_{12}^{(0)}, \dots, \xi_{1n}^{(0)}$ и $\xi_{11}^{(1)}, \xi_{12}^{(1)}, \dots, \xi_{1n}^{(1)}$ для которых последовательно $\xi_1(t)=0$ и $\xi_1(t)=1$, где $\xi_{li}^{(0)}$, $i = \overline{1, n}$ – случайные интервалы времени между появлением в помещении опасной концентрации метановоздушной смеси, а $\xi_{li}^{(1)}$, $i = \overline{1, n}$ – случайные отрезки времени нахождения в помещении газоздушной смеси в опасном состоянии.

Появление в помещении опасного электрического источника можно представить в виде случайной функции $\xi_2(t)$, характер изменения которой с течением времени следующий: существуют чередующиеся интервалы времени $\xi_{21}^{(0)}, \xi_{22}^{(0)}, \dots, \xi_{2m}^{(0)}$ и $\xi_{21}^{(1)}, \xi_{22}^{(1)}, \dots, \xi_{2m}^{(1)}$ для которых последовательно $\xi_2(t)=0$ и $\xi_2(t)=1$, где промежутки $\xi_{2j}^{(0)}$, $j = \overline{1, m}$ – интервалы времени между появлением в сети опасного источника (короткое замыкание в сети, дугообразование на силовых контактах и т.д.), а $\xi_{2j}^{(1)}$, $j = \overline{1, m}$ – длительность существования в сети опасного источника зажигания.

В этом описании взрыв в помещении произойдет в момент наложения промежутков времени $\xi_{1n}^{(1)}$ и $\xi_{2m}^{(1)}$. Возникновение взрыва в помещении не зависит от длины общей части наложившихся промежутков вре-

мени $\xi_{1n}^{(1)}$ и $\xi_{2m}^{(1)}$, а зависит только от того, соприкоснулись они или нет.

О статистической природе функции $\xi_1(t)$ предположим следующее: вероятность загазованности помещения до взрывоопасной концентрации за промежуток времени Δt равна $\lambda_1 \Delta t + o(\Delta t)$, где $o(\Delta t)$ обозначает величину высшего порядка малости по сравнению с Δt . Вероятность того, что за время Δt опасная концентрация метановоздушной смеси в помещении станет не опасной, равна $\mu_1 \Delta t + o(\Delta t)$. Величины λ_1 и μ_1 являются параметрами процесса $\xi_1(t)$.

Параметр λ_1 характеризует интенсивность или скорость, с которой безопасная концентрация метана в помещении переходит в опасное состояние; μ_1 – интенсивность или скорость, с которой опасная концентрация газовой смеси в помещении переходит в безопасное состояние.

Аналогична природа и функции $\xi_2(t)$. Предположим, что вероятность появления опасного источника зажигания в сети за промежуток времени Δt равна $\lambda_2 \Delta t + o(\Delta t)$. Вероятность того, что за время Δt опасный источник поджигания перейдет в безопасное состояние будет равна $\mu_2 \Delta t + o(\Delta t)$. Величины λ_2 и μ_2 являются параметрами процесса $\xi_2(t)$, λ_2 – характеризует интенсивность или скорость, с которой безопасные промежутки времени сменяются на опасные; μ_2 – интенсивность или скорость, с которой опасные промежутки времени существования источника поджигания сменяются на безопасные.

Принятые допущения означают, что $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$ можно рассматривать как два независимых регулярных однородных марковских процесса с дискретным числом состояний и непрерывным временем [3].

Взрыв в газифицированном помещении произойдет в момент случайного попадания процессов в состояние 1, т.е. когда $\xi_1(t) = 1$ и $\xi_2(t) = 1$.

Будем считать, что в начальный момент времени $\xi_1(t) = 0$ и $\xi_2(t) = 0$.

Задача состоит в следующем: зная размер помещения W , (м^3); приток в помещение свежего воздуха q_1 ($\text{м}^3/\text{мин}$) в результате естественной вентиляции; объем выделяемого в него газа (метана) q_2 , ($\text{м}^3/\text{мин}$) из-за утечек в газопроводе либо газового оборудования; время $t(C)$, по истечению которого концентрация газа в помещении достигнет некоторой заданной величины C , (в % об.); параметры процессов $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$, т.е. λ_1 , μ_1 , λ_2 , μ_2 , определить вероятность $F_1(t)$ взрывов в помещении; среднее время до взрыва τ_1 , дисперсию D_1 .

Решение поставленной задачи. Совокупность процессов $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$ рассмотрим как один регулярный однородный марковский процесс с четырьмя дискретными состояниями и непрерывным временем.

В любой момент времени система «среда-источник» может находиться в одном из четырех возможных состояний: $E\{e_1(0,0), e_2(1,0), e_3(0,1), e_4(1,1)\}$, где $e_1(0,0)$ – в помещении отсутствует опасная метановоздушная смесь и опасный электрический источник зажигания; $e_2(1,0)$ – в помещении образовалась опасная метановоздушная смесь и отсутствует опасный источник зажигания; $e_3(0,1)$ – в помещении отсутствует опасная метановоздушная смесь и появился опасный электрический источник зажигания; $e_4(1,1)$ – в помещении образовалась опасная метановоздушная смесь и появился электрический источник зажигания.

При случайном попадании процесса в поглощающее состояние $e_4(1,1)$ происходит взрыв метановоздушной смеси в рассматриваемом помещении. Возможная реализация регулярного однородного марковского процесса с четырьмя дискретными состояниями и непрерывным временем показана на рисунке.

Обозначим через ζ_k , $k = \overline{1,3}$ время пребывания процесса $\chi(t)$ в состоянии e_k . Для регулярного однородного марковского процесса $\chi(t)$ случайные величины ζ_k имеют показательную функцию распределения вероятностей [6]:

$$F_{\zeta_k}(t) = P\{\zeta_k < t\} = 1 - \exp[-(\lambda_i t)], \quad (1)$$

Обозначим через $P_{ii}(\Delta t)$ вероятность того, что система за малый промежуток времени Δt останется в состоянии e_i , $i = \overline{1,4}$ и через $P_{ij}(\Delta t)$ – вероятность того, что система за время Δt перейдет из состояния e_i в состояние e_j , $j = \overline{1,4}$.

Эти вероятности переходов определяются следующим образом [7]:

$$\begin{aligned} P_{ii}(\Delta t) &= P[\chi(t + \Delta t) = e_i / \chi(t) = e_i] = \\ &= P\left\{e_i \xrightarrow{\Delta t} e_i\right\} = 1 - \lambda_{ii} \Delta t + o(\Delta t) \end{aligned}, \quad (2)$$

$$\begin{aligned} P_{ij}(\Delta t) &= P[\chi(t + \Delta t) = e_j / \chi(t) = e_i] = \\ &= P\left\{e_i \xrightarrow{\Delta t} e_j\right\} = 1 - \lambda_{ij} \Delta t + o(\Delta t) \end{aligned}. \quad (3)$$

В формуле (3) величина λ_{ij} учитывает с точностью до членов второго порядка малости, что за время Δt произойдет переход системы из состояния e_i в другое состояние e_j . В формуле (2) величина $1 - \lambda_{ii} \Delta t$ учитывает с точностью до членов второго порядка малости, что за время Δt не произойдет переход системы из состояния e_i в другое состояние, т.е. процесс останется в состоянии e_i .

Следовательно, регулярный однородный марковский процесс можно задать с помощью показательного распределения вида (1) и матрицы вероятностей переходов $P(\Delta t) = [P_{ij}(\Delta t)]$.

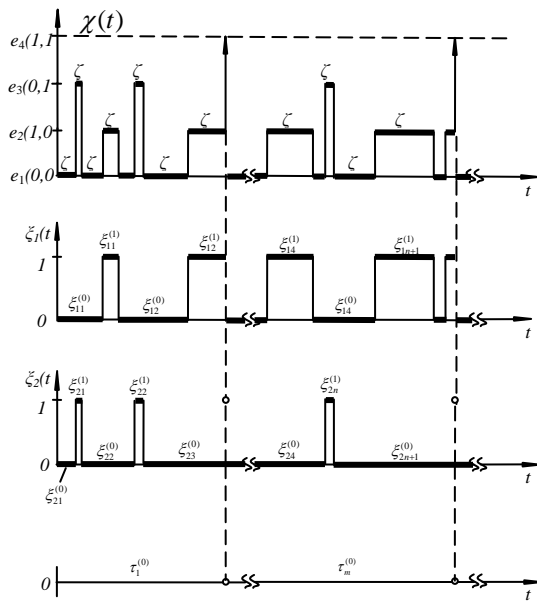


Рис. 1 – Возможная реализация регулярного однородного марковского случайного процесса с четырьмя дискретными состояниями и непрерывным временем, где: $e_1(0,0), e_2(1,0), e_3(0,1), e_4(1,1)$ – состояния системы «среда-источник»; ζ_k – время нахождения системы «среда-источник» в одном из k возможных состояний $k = \overline{1,3}$; $\chi(t); \xi_1(t); \xi_2(t)$ – регулярные однородные марковские случайные процессы; $\xi_{1i}^{(0)}; \xi_{1i}^{(1)}$ – интервал времени между появлением в помещении опасной метановоздушной смеси и длительность нахождения её в этом состоянии соответственно; $\xi_{2j}^{(0)}; \xi_{2j}^{(1)}$ – интервал времени между появлением в сети опасного источника зажигания и длительность его существования соответственно; $\tau_1^{(0)}; \tau_m^{(0)}$ – время до взрыва метановоздушной смеси в помещении

Среднее время до взрывов в газифицированном помещении τ_1 , дисперсию D_1 и функцию распределения интервалов времени между взрывами $F_1(t)$ можно определить из систем уравнений, записанных в матричной форме [8, 9]:

$$\tau = N\xi; \tag{4}$$

$$D = (2N - I)\tau - \tau^2; \tag{5}$$

$$P'(t) = P(t)A, \tag{6}$$

где I – единичная матрица; Q – матрица, полученная из матрицы интенсивностей переходов P_k путем исключения поглощающего состояния (строки, состоящей из элементов 0,0, ..., 1 и соответствующего столбца); ξ – вектор-столбец, все элементы которого равны 1; $\tau = [\tau_i]_{i=1}^{2^k-1}$ – вектор-столбец, k – число независимых процессов, участвующих в формировании аварии; $P'(t) = [P'(t)]_{i=1}^{2^k-1}$ – вектор-строка;

$$P(\Delta t) = \begin{pmatrix} 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t + o(\Delta t) & \lambda_1\Delta t + o(\Delta t) & \lambda_2\Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) \\ \mu_1\Delta t + o(\Delta t) & 1 - (\mu_1 + \lambda_2)\Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) & \lambda_2\Delta t + o(\Delta t) \\ \mu_2\Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) & 1 - (\lambda_1 + \mu_2)\Delta t + o(\Delta t) & \lambda_1\Delta t + o(\Delta t) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{11}$$

$P(t) = [P_i(t)]_{i=1}^{2^k-1}$ – вектор-строка; $N = (I - Q)^{-1}$ – фундаментальная матрица; $A = (Q - I)$ – матрица, полученная в результате разности матрицы Q и единичной; $\tau^2 = [\tau_i^2]_{i=1}^{2^k-1}$ – вектор-столбец; $\lambda_i = 1/\bar{d}_i$; \bar{d}_i – средний интервал времени нахождения элемента системы в безопасном состоянии; $\mu_i = 1/d_i$; d_i – средняя длительность нахождения элемента системы в опасном состоянии.

Система линейных дифференциальных уравнений (6) решается при следующих начальных условиях: $P_1(0) = 1; P_2(0) = 0; \dots P_\gamma(0) = 0$, где $\gamma = 2^k - 1$.

Функцию распределения интервалов времени между взрывами в помещении находим следующим образом:

$$F_1(t) = 1 - \sum_{i=1}^{2^k-1} P_i(t). \tag{7}$$

В том случае, если соблюдается условие

$$\tau_1 \cong \sqrt{D_1}, \tag{8}$$

тогда вероятность взрывов опасной газовой смеси в помещении можно определять с помощью формулы:

$$F_1(t) = 1 - e^{H_1 \cdot t}, \tag{9}$$

где $H_1 = 1/\tau_1$.

Используя формулы (2) и (3), вероятности переходов за время Δt для приведенной выше задачи определим следующим образом:

$$\begin{aligned} P_{11}(\Delta t) &= P[\chi(t + \Delta t) = e_1(0,0) / \chi(t) = e_1(0,0)] = \\ &= P\left\{e_1(0,0) \xrightarrow{\Delta t} e_1(0,0)\right\} = P_1(0 \rightarrow 0)P_2(0 \rightarrow 0) \\ &= e^{-\lambda_1 \cdot \Delta t} e^{-\lambda_2 \cdot \Delta t} = [1 - \lambda_1 \Delta t + o(\Delta t)][1 - \lambda_2 \Delta t + o(\Delta t)] = \\ &= 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t + o(\Delta t) \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} P_{12}(\Delta t) &= P[\chi(t + \Delta t) = e_2(1,0) / \chi(t) = e_1(0,0)] = \\ &= P\left\{e_1(0,0) \xrightarrow{\Delta t} e_2(1,0)\right\} = P_1(0 \rightarrow 1)P_2(0 \rightarrow 0) \\ &= (1 - e^{-\lambda_1 \cdot \Delta t})e^{-\lambda_2 \cdot \Delta t} = \\ &= [\lambda_1 \Delta t + o(\Delta t)][1 - \lambda_2 \Delta t + o(\Delta t)] = \\ &= \lambda_1 \Delta t + o(\Delta t) \end{aligned}$$

Для приведенной выше задачи состояние $e_4(1,1)$ является поглощающим [7], где $o(\Delta t)$ означает, что за время Δt маловероятно осуществить два перехода из одного состояния в другое [8]:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{o(\Delta t)}{\Delta t} = 0.$$

Используя полученные вероятности переходов (10), матрица вероятностей переходов примет вид:

Матрица $Q(\Delta t)$ получается из матрицы $P(\Delta t)$ путем исключения поглощающего состояния (строки, состоящей из элементов 0, 0, ... 1 и соответствующего столбца):

$$Q(\Delta t) = \begin{pmatrix} 1 - (\lambda_1 + \lambda_2)\Delta t + o(\Delta t) & \lambda_1\Delta t + o(\Delta t) & \lambda_2\Delta t + o(\Delta t) \\ \mu_1\Delta t + o(\Delta t) & 1 - (\mu_1 + \lambda_2)\Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) \\ \mu_2\Delta t + o(\Delta t) & o(\Delta t) & 1 - (\lambda_1 + \mu_2)\Delta t + o(\Delta t) \end{pmatrix}. \quad (12)$$

Используя матрицу $Q(\Delta t)$, определим матрицу A [8]:

$$A = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{Q(\Delta t) - I}{\Delta t}. \quad (13)$$

Подставляя матрицу (12) в формулу (13), получим:

$$A = \begin{pmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \lambda_2) & 0 \\ \mu_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) \end{pmatrix}. \quad (14)$$

Матрицу N находят следующим образом [12, 13]:

$$N = \left\{ \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \left(\frac{I - Q(\Delta t)}{\Delta t} \right) \right\}^{-1}, \quad (15)$$

тогда, подставив (12) в (15), получим:

$$N = \begin{pmatrix} \lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ -\mu_1 & \mu_1 + \lambda_2 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & \lambda_1 + \mu_2 \end{pmatrix}^{-1}, \quad (16)$$

где $\lambda_1 = \frac{a_1}{lt}$; $\lambda_2 = \frac{a_2}{lt}$; $\mu_1 = 1/d_1$; $\mu_2 = 1/d_2$; a_1 – число выявленных случаев опасной загазованности помещений в течение заданного отрезка времени; a_2 – число выявленных случаев появления опасных источников зажигания за время наблюдения; l – число однотипных помещений; t – время наблюдения; d_1 – средняя длительность нахождения взрывоопасной смеси в помещении (содержание метана в атмосфере 5–15%); d_2 – средняя длительность существования в сети опасного источника зажигания.

Время, по истечении которого средняя концентрация газа в помещении объемом W достигнет некоторой заданной величины C , находим пользуясь формулой [9]:

$$t(C) = -\frac{T}{1 + q_2/q_1} \ln \left[1 - \left(1 + \frac{q_1}{q_2} \right) C \right], \quad (17)$$

где q_1 – расход воздуха, м³/мин (в результате естественной вентиляции в помещение поступает свежий воздух); q_2 – выделяемый в помещение газ, м³/мин (при утечках газа в системе газоснабжения помещения и т.д.); C – концентрация газа, %; $T = W / q_1$ – период однократного обмена воздуха в помещении, мин; W – объем помещения, м³.

Используя формулу (17), находим d_1 :

$$d_1 = t(C_2) - t(C_1), \quad (18)$$

Используя (17) и (18), находим:

$$d_1 = \frac{kW}{q_1 + q_2} \left\{ \ln \left[1 - \left(1 + \frac{q_1}{q_2} \right) C_1 \right] - \ln \left[1 - \left(1 + \frac{q_1}{q_2} \right) C_2 \right] \right\}, \quad (19)$$

где C_1 , C_2 – нижний и верхний пределы взрываемости метановоздушной смеси соответственно; $k \geq 1$ – коэффициент, который зависит от времени снижения концентрации взрывоопасной смеси в помещении для области воспламенения метана.

Если время нарастания концентрации метановоздушной смеси от нижнего предела взрываемости к верхнему будет равно времени снижения концентрации взрывоопасного газа от верхнего к нижнему пределу, тогда $k=2$.

Если предположить, что длительность нахождения взрывоопасной метановоздушной смеси в помещении в пределах 5-15% метана в воздухе не противоречит экспоненциальной функции распределения вероятностей, тогда:

$$\mu_1 = \frac{q_1 + q_2}{kW \left\{ \ln \left[1 - \left(1 + \frac{q_1}{q_2} \right) C_1 \right] - \ln \left[1 - \left(1 + \frac{q_1}{q_2} \right) C_2 \right] \right\}}. \quad (20)$$

Подставив матрицу (16) в систему уравнений (4), получим:

$$\begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ -\mu_1 & \mu_1 + \lambda_2 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & \lambda_1 + \mu_2 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Систему уравнений (21) представим в виде:

$$\begin{pmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{pmatrix} = \frac{1}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} \begin{pmatrix} (\mu_1 + \lambda_2)(\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_1(\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_2(\mu_1 + \lambda_2) \\ \mu_1(\lambda_1 + \mu_2) & \lambda_1(\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_2) & \lambda_2 \mu_1 \\ \mu_2(\mu_1 + \lambda_2) & \lambda_1 \lambda_2 & \lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (22)$$

Из системы уравнений (22) находим:

$$\tau_1 = \frac{(\mu_1 + \lambda_2)(\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_1(\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_2(\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}; \quad (23)$$

$$\tau_2 = \frac{\mu_1(\lambda_1 + \mu_2) + \lambda_1(\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_2) + \lambda_2 \mu_1}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}; \quad (24)$$

$$\tau_3 = \frac{\mu_2(\mu_1 + \lambda_2) + \lambda_1 \mu_2 + \lambda_2(\lambda_1 + \mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)}, \quad (25)$$

где τ_1 – среднее время до взрыва в помещении, если в начальный момент времени в нем отсутствуют опасная загазованность и в сети отсутствует электрический источник зажигания; τ_2 – среднее время до взрыва в помещении, если в начальный момент времени в нем образовалась опасная концентрация метановоздушной смеси и отсутствует в сети опасный электрический источник зажигания; τ_3 – среднее время до взрыва в помещении, если в начальный момент времени отсутствует опасная загазованность помещения и в сети появился электрический источник зажигания.

В том случае, когда выполняются условия:

$$\lambda_1 \ll \mu_1, \lambda_2 \ll \mu_2, \mu_2 \gg \mu_1, \quad (26)$$

формула (23) примет вид:

$$\tau_1 = \frac{\mu_1}{\lambda_1 \lambda_2}. \quad (27)$$

Дисперсию времени до наступления взрыва в помещении находим, пользуясь системой уравнений (5) и матрицей (16).

$$\begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ -\mu_1 & \mu_1 + \lambda_2 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & \lambda_1 + \mu_2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tau_1 \\ \tau_2 \\ \tau_3 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \tau_1^2 \\ \tau_2^2 \\ \tau_3^2 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Из системы уравнений (28) находим:

$$\begin{aligned} D_1 &= \left[\frac{2(\mu_1 + \lambda_2)(\lambda_1 + \mu_2)}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_1 + \\ &+ \left[\frac{2(\lambda_1 + \mu_2)}{\lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_2 + \quad ; \quad (29) \\ &+ \left[\frac{2(\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_3 - \tau_1^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_2 &= \left[\frac{2\mu_1(\lambda_1 + \mu_2)}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_1 + \\ &+ \left[\frac{2(\lambda_1 + \mu_2 + \lambda_2)}{\lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_2 + \quad ; \quad (30) \\ &+ \left[\frac{2\mu_1}{\lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_3 - \tau_2^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_3 &= \left[\frac{2\mu_2(\mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 \lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_1 + \\ &\left[\frac{2\mu_2}{\lambda_2 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_2 + \quad , \quad (31) \\ &\left[\frac{2(\lambda_1 + \mu_1 + \lambda_2)}{\lambda_1 (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2)} - 1 \right] \tau_3 - \tau_3^2 \end{aligned}$$

где D_1 – дисперсия времени до взрыва в помещении, если в начальный момент времени в нем отсутствует взрывоопасная смесь и в сети отсутствует опасный электрический источник зажигания; D_2 – дисперсия

времени до взрыва в помещении, если в начальный момент времени в нем образовалась опасная концентрация метановоздушной смеси, а в сети отсутствует электрический источник зажигания; D_3 – дисперсия времени до взрыва в помещении, если в начальный момент времени отсутствует взрывоопасная газовоздушная смесь и в сети появился опасный электрический источник зажигания.

В формулах (29), (30) и (31) значения τ_1 , τ_2 и τ_3 находят с помощью формул (23), (24) и (25).

В том случае, если выполняются условия $\lambda_1 \ll \mu_1$, $\lambda_2 \ll \mu_2$, то:

$$D_1 \cong \frac{\mu_1^2 \mu_2^2}{\lambda_1^2 \lambda_2^2 (\mu_1 + \mu_2)^2}. \quad (32)$$

Во всех случаях, если при расчётах получим, что

$$\tau_1 \cong \sqrt{D_1}, \quad (33)$$

тогда вероятность взрывов в помещении за время t можно определить с помощью формулы:

$$F_1(t) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{1}{\tau_1} \right) t \right]. \quad (34)$$

Используя формулы (27) и (20), получим:

$$\tau_1 = \frac{q_1 + q_2}{\lambda_1 \lambda_2 k W \left\{ \ln \left[1 - \left(1 + \frac{q_1}{q_2} \right) C_1 \right] - \ln \left[1 - \left(1 + \frac{q_1}{q_2} \right) C_2 \right] \right\}}. \quad (35)$$

Если условие (33) не выполняется, тогда $F_1(t)$ находим следующим образом, используя формулу (7):

$$F_1(t) = 1 - [P_1(t) + P_2(t) + P_3(t)], \quad (36)$$

где $P_1(t)$ – вероятность того, что в помещении в момент времени t отсутствует взрывоопасная смесь и опасный электрический источник зажигания; $P_2(t)$ – вероятность того, что в помещении в момент времени t образовалась взрывоопасная метановоздушная смесь, и в сети отсутствует электрический источник зажигания; $P_3(t)$ – вероятность того, что в помещении в момент времени t отсутствует взрывоопасная метановоздушная смесь и появился в сети электрический источник зажигания.

Используя систему линейных дифференциальных уравнений (6) и матрицу (14), получим:

$$\begin{bmatrix} P'_1(t) \\ P'_2(t) \\ P'_3(t) \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \\ P_3(t) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \lambda_2) & 0 \\ \mu_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) \end{bmatrix} \quad (37)$$

Система линейных дифференциальных уравнений (37) решается при начальных условиях: $P_1(0) = 1$; $P_2(0) = 0$; $P_3(0) = 0$.

Систему уравнений (37) с помощью преобразования Лапласа приводим к линейной системе алгебраических уравнений вида [10]:

$$P(S) = AP(0)[SI -]^{-1}, \quad (38)$$

тогда система линейных дифференциальных уравнений (37) примет вид:

$$\begin{bmatrix} P_1(S) \\ P_2(S) \\ P_3(S) \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \left[\begin{bmatrix} S & 0 & 0 \\ 0 & S & 0 \\ 0 & 0 & S \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -(\lambda_1 + \lambda_2) & \lambda_1 & \lambda_2 \\ \mu_1 & -(\mu_1 + \lambda_2) & 0 \\ \mu_2 & 0 & -(\lambda_1 + \mu_2) \end{bmatrix} \right]^{-1} \quad (39)$$

Систему уравнений (39) преобразуем к виду:

$$\begin{bmatrix} P_1(S) \\ P_2(S) \\ P_3(S) \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}^T \left[\begin{bmatrix} S + \lambda_1 + \lambda_2 & -\lambda_1 & -\lambda_2 \\ -\mu_1 & S + \mu_1 + \lambda_2 & 0 \\ -\mu_2 & 0 & S + \lambda_1 + \mu_2 \end{bmatrix} \right]^{-1} \quad (40)$$

Из системы уравнений (40) находим:

$$P_1(S) = \frac{(S + \lambda_1 + \mu_2)(S + \mu_1 + \lambda_2)}{S^3 + aS^2 + bS + c}; \quad (41)$$

$$P_2(S) = \frac{(S + \lambda_1 + \mu_2)(S + \mu_1 + \lambda_2)}{S^3 + aS^2 + bS + c}; \quad (42)$$

$$P_3(S) = \frac{\lambda_2(S + \mu_1 + \lambda_2)}{S^3 + aS^2 + bS + c}, \quad (43)$$

где

$$a = 2\lambda_1 + \mu_1 + 2\lambda_2 + \mu_2;$$

$$b = \lambda_1\lambda_2 + (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2);$$

$$c = \lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1 + \mu_2).$$

Используя выражение (36), вероятность взрывов в помещении найдем следующим образом:

$$F_1(t) = 1 - \{L^{-1}[P_1(S) + P_2(S) + P_3(S)]\}. \quad (44)$$

Для получения обратного преобразования Лапласа, воспользуемся формулой [15]:

$$R(t) = \sum_{k=1}^n \frac{G(S_k)}{Z'(S_k)} e^{S_k t}, \quad (45)$$

где S_k – корни уравнения $Z(S_k) = 0$. Используя формулы (41)-(45), получим:

$$F_1(t) = 1 - \left[\frac{G(S_1)}{Z'(S_1)} e^{S_1 t} + \frac{G(S_2)}{Z'(S_2)} e^{S_2 t} + \frac{G(S_3)}{Z'(S_3)} e^{S_3 t} \right], \quad (46)$$

где

$$Z(S_k) = S^3 + aS^2 + bS + c. \quad (47)$$

Приравняв $Z(S_k) = 0$, найдем корни уравнения S_1, S_2, S_3 известными методами [10].

Находим $Z'(S_k), k = 1, 2, 3$:

$$Z'(S_k) = (S_k^3 + aS_k^2 + bS_k + c)' = 3S_k^2 + 2aS_k + b,$$

где $Z'(S_1) = 3S_1^2 + 2aS_1 + b$; $Z'(S_2) = 3S_2^2 + 2aS_2 + b$; $Z'(S_3) = 3S_3^2 + 2aS_3 + b$.

Подставив полученные значения: $Z'(S_1), Z'(S_2), Z'(S_3)$ и $G(S_1), G(S_2), G(S_3)$ в формулу (46), получим:

$$F_1(t) = 1 - \frac{S_1^2 + aS_1 + b_1}{3S_1^2 + 2aS_1 + b} e^{S_1 t} - \frac{S_2^2 + aS_2 + b_1}{3S_2^2 + 2aS_2 + b} e^{S_2 t} - \frac{S_3^2 + aS_3 + b_1}{3S_3^2 + 2aS_3 + b} e^{S_3 t}. \quad (48)$$

Формула (48) позволяет оценить взрывобезопасность газифицированного помещения при заданных исходных данных.

Пример. В помещении объемом $W = 27 \text{ м}^3$ в результате естественной вентиляции поступает свежий воздух с расходом $q_1 = 1 \text{ м}^3/\text{мин}$. При утечке газа в системе газоснабжения в помещение непрерывно поступает газ с расходом $q_2 = 0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$. За время наблюдения за этим помещением $t = 5$ лет было зафиксировано $a_1 = 6$ случаев опасной загазованности помещения, $C_1 = 0,05, C_2 = 0,015$ – нижний и верхний пределы взрываемости метановоздушной смеси соответственно.

Будем предполагать, что среднее время нарастания концентрации метановоздушной смеси в помещении от нижнего предела взрываемости к верхнему будет равно среднему времени снижения концентрации взрывоопасного газа от верхнего предела взрываемости к нижнему, т.е. $k = 2$; частота появления в сети опасного источника зажигания (короткое замыкание в сети) в этом помещении $\lambda_2 = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, а средняя длительность его существования $d_2 = 0,2 \text{ с}$ – время срабатывания токовой отсечки автоматического выключателя ($\mu_2 = 1/d_2 = 18000 \text{ ч}^{-1}$).

Определить вероятность взрывов в помещении в течение $t_1 = 1$ год.

Используя формулу (20), определим μ_1 :

$$\mu_1 = \frac{1 + 0,5}{2 \cdot 27 \left\{ \ln \left[1 - \left(1 + \frac{1}{0,5} \right) 0,05 \right] - \ln \left[1 - \left(1 + \frac{1}{0,5} \right) 0,15 \right] \right\}} = 0,064 \text{ мин}^{-1} = 3,8 \text{ ч}^{-1}$$

$$\text{Находим } \lambda_1 = \frac{a_1}{t} = \frac{6}{5 \cdot 8760} = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}.$$

Из условия задачи видно, что условие (26) соблюдается. Тогда, используя формулы (27) и (34), находим вероятность появления взрывов в исследуемом помещении в течение года, т.е. $F(8760)$:

$$F(8760) = 1 - \exp \left[- \frac{1,37 \cdot 2,38 \cdot 10^{-8}}{3,8} \cdot 8760 \right] = 7,5 \cdot 10^{-5},$$

Из приведенного расчета видно, что с вероятностью $7,5 \cdot 10^{-5}$ в исследуемом помещении в течение года произойдет взрыв.

Полученное значение вероятности взрывов в исследуемом помещении в течение года $F(8760) = 7,5 \cdot 10^{-5}$ больше нормируемого значения $Q(8760) \leq 1 \cdot 10^{-6}$ [12] в 75 раз. Следовательно, необходимо разрабатывать организационные и технические

мероприяття, которые позволяют уменьшить параметры λ_1, λ_2 и увеличивать μ_1 .

Выводы

1. Изменение состояния газовой смеси в исследуемом помещении и появление источника зажигания, мощность и длительность которого достаточны для воспламенения взрывоопасной метановоздушной смеси, целесообразно представить в виде двух независимых регулярных однородных марковских процессов $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$ с двумя дискретными состояниями («0» – безопасное состояние, «1» – опасное) и непрерывным временем.

2. Каждый из процессов $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$ характеризуется двумя параметрами: \bar{d}_1 – среднее время между появлением взрывоопасной концентрации метановоздушной смеси в помещении; d_1 – средняя длительность существования опасной метановоздушной смеси; \bar{d}_2 – средний интервал времени между появлением опасного источника зажигания; d_2 – средняя длительность существования опасного источника.

3. Получены новые формулы: (23)–(25), (27), (29)–(31), (34)–(35), (48), которые отличаются от известных тем, что кроме частоты появления событий и длительности их существования, учитывают объем помещения, расход воздуха в результате естественной вентиляции, а также изменение концентрации метановоздушной смеси в помещении.

4. При выполнении условия: $\lambda_1 \ll \mu_1, \lambda_2 \ll \mu_2$ и $\mu_2 \gg \mu_1$ получена инженерная формула для определения вероятности возникновения взрыва в помещении с течением времени (34). Для конкретного газифицированного помещения с параметрами $W = 27 \text{ м}^3, q_1 = 1 \text{ м}^3/\text{мин}, q_2 = 0,5 \text{ м}^3/\text{мин}$ с частотой опасной загазованности помещения $\lambda_1 = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, частотой появления опасного источника поджигания $\lambda_2 = 2,38 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$, и средней длительности его существования $d_2 = 0,2 \text{ с}$. Установлено, что в этом помещении с вероятностью $7,5 \cdot 10^{-5}$ в течение года произойдет взрыв метановоздушной смеси. Полученное значение больше нормируемого в 75 раз. Следовательно, для обеспечения нормируемого уровня взрывобезопасности помещения необходимо разрабатывать организационные и технические мероприятия, направленные на уменьшение параметров λ_1, λ_2 и увеличению μ_1 .

Список литературы: 1. Статут залізниць України [Текст] / Затв. постановою кабінету міністрів України від 6.04.1998 р № 457. 2. Организация движения на железнодорожном транспорте [Текст] /

Под ред. Ф. П. Кочнева. – М.: Транспорт, 1979. – 568 с. 3. Левин, Д. Ю. Расчет и использование пропускной способности железных дорог: монография [Текст] / Д. Ю. Левин, В. Л. Павлов. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 364 с. 4. Бородин, А. Ф. Эксплуатационная работа железнодорожных направлений [Текст] / А. Ф. Бородин // Труды ВНИИАС. Вып. 6. – М.: БизнесПроект. – 2008. – С. 307–314. 5. Железнов, Д. В. Оптимизация движения поездов при ограничениях пропускной способности «окна» для производства капитального ремонта пути [Текст] / Д. В. Железнов, Е. Н. Светлакова. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing. – 2012. – 120 с. 6. Железнов, Д. В. Методология усиления провозной способности железных дорог России в условиях реформы отрасли [Текст]: диссертация доктора техн. наук / Д. В. Железнов; Моск. гос. ун-т путей сообщ. – М., 2013. – 324 с. 7. Батурич, А. П. Теория выбора оптимального развития технического оснащения сети железных дорог [Текст]: диссертация доктора техн. наук / А. П. Батурич; М.: МИИТ. – 2000. – 336 с. 8. Тимчасова інструкція з організації швидкісного руху пасажирських поїздів. Вимоги до інфраструктури та рухомого складу [Текст] / Затв. нар. Укрзалізниця від 12.07.02 № 360-Ц. 9. Виноградов, С. А. Предложения по разработке и автоматизации технологии оценки влияния параметров перевозочного процесса на пропускные способности участков железных дорог [Текст] / С. А. Виноградов // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2012. – № 3. – С. 22–26. 10. Анисимов, П. С. Высокоскоростные железнодорожные магистрали и пассажирские поезда: монография [Текст] / П. С. Анисимов, А. А. Иванов. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 542 с. 12. Папахов, О. Ю. Обгрунтування руху поїздів на напрямках за погодженими розкладами [Текст] / О. Ю. Папахов, Н. О. Логвінова // Науковий журнал «Електрифікація транспорту». – 2014. – № 8. – С. 110 – 116.

Bibliography (transliterated): 1. Postanovoyu kabinetu ministriv Ukraini No 457/ (1998). Statut zaliznits Ukraini. 2. Kochnev, F. (1979). Organizatsiya dvizheniya na zheleznodorozhnom transporte, 568. 3. Levin, D., Pavlov, V. (2111). Raschet i ispolzovanie propusknoy sposobnosti zheleznykh dorog: monografiya. M.: FGOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 364. 4. Borodin, A. (2008). Eksploatatsionnaya rabota zheleznodorozhnykh napravleniy. Trudy VNIAS, 6, Kyiv: BiznesProekt, 307–314. 5. Zheleznov, D., Svetlakova, E. (2012). Optimizatsiya dvizheniya poezdov pri ogranicheniyah propusknoy sposobnosti «okna» dlya proizvodstva kapitalnogo remonta puti. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 120. 6. Zheleznov, D. (2013). Metodologiya usileniya provoznoy sposobnosti zheleznykh dorog Rossii v usloviyah reformy otrasli. dissertatsiya doktora tehn. Nauk. Mosk. gos. un-t putey soobsch. Moscow, 324. 7. Baturich, A. (2000). Teoriya vyibora optimalnogo razvitiya tehničeskogo osnascheniya seti zheleznykh dorog. dissertatsiya doktora tehn. Nauk, Moscow: MIIT, 336. 8. Nak. Ukrzaliznitsi vid 12.07.02 no 360-TS. (2002). Timchasova instruksiya z organizatsiyi shvidkissnogo ruhu pasazhirskih poyzdiv. Vimogi do infrastrukturi ta ruhomogo skladu. 9. Vinogradov, S. (2012). Predlozheniya po razrobotke i avtomatizatsii tehnologii otsenki vliyaniya parametrov perevozhnogo protsessna na propusknyie sposobnosti uchastkov zheleznykh dorog. Byulleten ob'edinyonogo uchyonogo soveta ОАО «RZhD», 3, 22–26. 10. Anisimov, P., Ivanov, A. (2011). Vysokoskorostnyie zheleznodorozhnyie magistrali i passazhirskie poezda: monografiya. – GOU «Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte», 542. 11. Vernigora, R., Papahov, O., Logvinova, N. (2013). Analitichniy rozrahunok koefitsientiv zyoumu vantazhnih poizdiv pasazhirskimi v umovah shvidkissnogo ruhu. Shidno-Evropayskiy zhurnal peredovih tehnologiy, 2/3 (62), 51–55. 12. Papahov, O., Logvinova N. (2014). Obgruntuвання ruhu poyzdiv na napryamkakh za pogodzhennimi rozkladami. Naukoviy zhurnal «Elektrifikatsiya transportu», 8, 110 – 116.

Поступила (received) 15.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковальов Олександр Петрович – доктор технічних наук, Донецький національний технічний університет, професор кафедри "Електропостачання промислових підприємств та міст"; вул. Артема, 58, м. Донецьк, Україна, 83000; тел.: 095-003-57-47; e-mail: Kovalev_Alex@gmail.com.

Ковалев Александр Петрович – доктор технических наук, Донецкий национальный технический университет, профессор кафедры "Электроснабжение промышленных предприятий и городов"; ул. Артема, 58, г. Донецк, Украина, 83000; тел.: 095-003-57-47; e-mail: Kovalev_Alex@gmail.com.

Kovalev Alexander – Doctor of Engineering, Donetsk National Technical University, Professor of "Electrical supply of industrial enterprises and cities"; st. Artem, 58, Donetsk, Ukraine, 83000; tel.: 095-003-57-47; e-mail: Kovalev_Alex@gmail.com.

Москвіна Ірина Ігорівна – кандидат технічних наук, Бердянський державний педагогічний університет, доцент кафедри "Методики викладання фізико-математичних дисциплін та інформаційних технологій у навчанні"; вул. Шмідта 4, м. Бердянськ, Україна; тел.: 095-003-57-47; e-mail: iriwka-gt@inbox.ru.

Москвіна Ірина Ігорівна – кандидат технических наук, Бердянский государственный педагогический университет, доцент кафедры "Методики преподавания физико-математических дисциплин и информационных технологий в образовании"; ул. Шмидта 4, г. Бердянск, Украина; тел.: 095-003-57-47;

Moskvina Irina – Ph.D., Berdyansk State Pedagogical University, Associate Professor of "Teaching methods of physical and mathematical sciences and information technologies in education"; st. Schmidt 4, m. Berdyansk, Ukraine; tel.: 095-003-57-47; e-mail: iriwka-gt@inbox.ru.

УДК 004.89:614.841.4

В. М. КРИШТАЛЬ, А. В. СЕРГЄЄВ, В. Є. СНИТЮК

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ВАРІАНТУ КОМПЛЕКТАЦІЇ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКИХ ВИСНОВКІВ

Виконано аналіз аспектів розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки. Розроблено метод визначення оптимального варіанту комплектування як елемента технології проведення нечіткої багатокритеріальної оптимізації з використанням методу аналізу ієрархій та побудови функцій належності на основі попарних порівнянь пріоритетності цільових функцій. Визначено обмеження на процес і розв'язок задачі, що дозволяють на етапі попереднього аналізу відсіяти неперспективні альтернативи, а також розглянуто можливості застосування інших еволюційних технологій. Наведено приклад експериментального розрахунку варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки.

Ключові слова: аварійно-рятувальна техніка, комплектування, нечіткі висновки, аналіз ієрархій, функція належності.

Вступ. До особливостей сучасного світу належать безперервні природні катаклізми. Це цунами та урагани, землетруси і тайфуни, посухи, повені та пожежі. Такі природні явища супроводжуються техногенними, екологічними катастрофами, які обумовлені ще і зростанням промислового виробництва, а також загрозами, що виходять від окремих суб'єктів, або викликані іншими, можливо випадковими факторами. У розвинених країнах світу створені спеціальні служби, які надають допомогу людям, постраждалим у вищевказаних ситуаціях. В Україні такі функції покладені на підрозділи Державної служби з надзвичайних ситуацій. Певний універсалізм функцій, що виконують його співробітники, є причиною існування проблеми забезпечення та комплектування таких підрозділів технічними засобами. У більшості випадків їх носієм є пожежний або спеціальний автомобіль і у цьому випадку існує протиріччя між необхідністю забезпечення універсальності аварійно-рятувальної техніки (АРТ) і обмеженістю його носія. Необхідно розв'язувати задачу оптимального комплектування АРТ.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Така задача має спільні особливості з відомими задачами, зокрема, із задачею про упаковку в контейнери за вагою або за вартістю [1] і задачею про ранець [2]. Відомими методами їх розв'язання є динамічне програмування [3], метод гілок і границь [4], метод повного перебору [5], генетичні алгоритми [6], алгоритми мурашиної колонії [7], «жадібні» алгоритми [8] тощо.

Особливостями таких задач і відповідних методів їх розв'язання є чітко задані параметри об'єктів і одно- або двокритеріальність. На відміну від них задача комплектування АРТ є багатокритеріальною задачею з нечітко заданими перевагами на множині ці-

льових функцій. Крім того, вона є певним аналогом задачі упаковки в контейнери, тобто тривимірною. При цьому кількість контейнерів вважається заданою, а кількість елементів АРТ є змінною. Вирішення проблеми комплектування АРТ та розробка методики визначення оптимальної альтернативи комплектування становить важливу науково-технічну проблему.

Ціль та задачі дослідження. Метою дослідження є визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі нечітких експертних висновків.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

1. Виконати формалізацію задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки як задачі багатокритеріальної оптимізації подібної до задачі тривимірної упаковки в контейнери з декількома цільовими функціями.

2. Розробити метод визначення оптимального варіанту комплектування АРТ на основі висновків багатьох експертів, методу аналізу ієрархій та елементів теорії нечітких множин.

Постановка задачі комплектування АРТ виконана раніше в [9]. Наведемо її основні елементи. Нехай множина $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ представляє номенклатуру АРТ. Кожен елемент множини X належить до одного із класів множини $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, де $k \ll n$. Припустимо, що в комплект має входити об'єднання для кожного із $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ класів, $m < k$, тобто необхідно вибрати по одному елементу із множин $\{X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_m}^1\} \subset C_1, \dots, \{X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_m}^m\} \subset C_m$. Кожному елементу множини X поставимо у відповідність сукупність значень

$X_q \rightarrow \langle F_{1q}, F_{2q}, \dots, F_{pq}, a_q, b_q, c_q \rangle$, де F_{iq} – значення i -го критерію оцінки q -го елемента, $i = \overline{1, p}$, a_q, b_q, c_q – його габаритні розміри, $q = \overline{1, n}$.

Припустимо, що один комплект АРТ K_i містить елементи множини X , тобто $K_i \subset X$. При цьому можуть існувати такі комплекти, кількість елементів у яких не співпадає, тобто $\exists i, j, i \neq j: |K_i| \neq |K_j|$. І ще одна вимога, яка не є обов'язковою, але виконання якої є доцільним: в один комплект АРТ не входять два і більше елементів із одного класу, тобто не існує таких $j, q, p: (X_{jq} \in K_i) \& (X_{jp} \in K_i)$.

Не обмежуючи загальності, припустимо, що контейнер один, і він має форму прямокутного паралелепіпеда з габаритними розмірами a, b, c . Виключимо із розгляду ті можливі розв'язки, які не задовольняють одній чи декільком умовам.

Очевидними є такі обмеження:

- $\sum_i (a_i \cdot b_i \cdot c_i) \leq a \cdot b \cdot c$, тобто сумарний об'єм елементів комплексу не повинен перевищувати загальний об'єм контейнера.

2. $\forall i \max\{a_i, b_i, c_i\} < \max\{a, b, c\}$, яке вказує на те, що якщо хоча б один елемент має хоча б один габаритний розмір, який перевищує найбільший габаритний розмір контейнера, то такий комплект виключається.

Критеріями, що визначають вибір того чи іншого комплексу АРТ, є F_1 – функціональність, F_2 – потужність, F_3 – надійність, F_4 – ціна. Одержуємо задачу багатокритеріальної оптимізації: знайти комплект АРТ, який відповідає розв'язанню задачі

$$F_1 \rightarrow \max, F_2 \rightarrow \max, F_3 \rightarrow \max, F_4 \rightarrow \min, \quad (1)$$

при вищевказаних обмеженнях. Її розв'язанню передують визначення вагових коефіцієнтів критеріальних функцій.

Розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки з використанням нечітких експертних припущень. Задача комплектування АРТ може бути розв'язаною з використанням методу аналізу ієрархій Сааті, оскільки необхідно здійснити як порівняння важливості критеріїв оцінювання комплектів АРТ, так і порівняння самих комплектів. Будемо використовувати шкалу порівнянь, запропоновану Томасом Сааті [10]. Значення елементів матриці парних порівнянь будуть такими:

- 1, якщо об'єкт А і об'єкт В рівноважливі;
- 3, якщо об'єкт А помірно перевершує об'єкт В;
- 5, якщо об'єкт А має істотну перевагу над об'єктом В;
- 7, якщо об'єкт А значно перевершує об'єкт В;
- 9, якщо об'єкт А має сильну перевагу над об'єктом В;
- 2, 4, 6, 8 – відповідають проміжним твердженням про важливість.

Якщо при порівнянні А і В маємо одне з вищевказаних чисел, то при порівнянні В з А отримаємо обернену величину. Визначимо пріоритети критеріальних функцій. Для цього виберемо експертів, які, ви-

користовуючи шкалу, запропоновану Т. Сааті, здійснюють їх порівняння. Отримаємо матриці

$$G_i = \begin{pmatrix} 1 & g_{12}^i & g_{13}^i & g_{14}^i \\ 1/g_{12}^i & 1 & g_{23}^i & g_{24}^i \\ 1/g_{13}^i & 1/g_{23}^i & 1 & g_{34}^i \\ 1/g_{14}^i & 1/g_{24}^i & 1/g_{34}^i & 1 \end{pmatrix}, i = \overline{1, m}. \quad (2)$$

Припустимо, що компетентність w_i кожного із експертів відома (якщо це не так, то компетентність можна визначити, використовуючи метод, запропонований в [11]) і $\sum_{i=1}^m w_i = 1$. Компетентність експертів ви-

значають, виходячи із початкових даних. Так, компетентність експертів може бути визначена в умовах повної невизначеності особи, що приймає рішення; компетентність певного експерта є середнім арифметичним його самооцінки та оцінок інших експертів; компетентність є середнім оцінки особи, що приймає рішення, з вагою 0,5 та оцінок інших експертів тощо.

Очевидно, що висновки експерта при розв'язанні задачі порівняння альтернатив часто будуть неузгодженими. Для реалізації можливості врахування цього фактора для кожної матриці $G_i, i = \overline{1, m}$, обчислюємо індекс узгодженості, який дорівнює абсолютній величині відхилення розмірності матриці G_i та її максимального власного числа, тобто $\delta_i = |4 - q_i|, i = \overline{1, m}$. Менше значення δ_i відповідає кращій узгодженості порівнянь експерта. Якщо δ_i досить велике, то матрицю, яка відповідає висновкам такого експерта, необхідно виключити із розгляду або виконати певні уточнюючі процедури.

На наступному кроці здійснюємо додавання елементів матриць $G_i, i = \overline{1, m}$, що знаходяться над головною діагоналлю, з відповідними ваговими коефіцієнтами. Інші елементи результуючої матриці G знайдемо як обернені величини до вже обчислених елементів. Сформувавши матрицю G , визначимо пріоритети критеріальних функцій [10]:

$$p_i = \frac{(\prod_{j=1}^4 g_{ij})^{\frac{1}{4}}}{\sum_{i=1}^4 (\prod_{j=1}^4 g_{ij})^{\frac{1}{4}}}, i = \overline{1, 4}. \quad (3)$$

Таким чином, ми встановили важливість критеріальних функцій при визначенні того чи іншого варіанту комплектування АРТ.

На наступному кроці необхідно оцінити варіанти комплектування АРТ по кожному з критеріїв $F_i, i = \overline{1, 4}$. Припустимо, що після проведення попереднього аналізу і перевірки виконання обмежень залишилось p можливих варіантів. Аналогічно попередньому кроку необхідно одержати чотири матриці Q_i , елементи кожної з яких містять значення парних порівнянь варіантів комплектування за критеріями $F_i, i = \overline{1, 4}$. Отримати матриці можна двома способами. У першому з них елементи матриці визначають традиційно, виходячи з висновків експертів для всіх пар

варіантів. Оскільки кількість таких варіантів навіть у найбільш малорозмірних завданнях досить велика, то матриця попарних порівнянь буде погано узгодженою та її аналіз і застосування в подальших розрахунках стає проблематичним. Рациональним представляється використовувати інший відомий спосіб отримання матриць $Q_i, i = \overline{1,4}$. Для цього необхідно визначити тільки значення попарних порівнянь для одного варіанта комплектування АРТ, наприклад, для першого. Всі інші елементи матриць розраховуються за формулою $q_{kl} = \frac{q_{l1}}{q_{1k}}, k, l = \overline{1, p}$. Отримаємо такі матриці:

$$Q_i = \begin{pmatrix} 1 & q_{12}^i & q_{13}^i & \dots & q_{1p}^i \\ 1/q_{12}^i & 1 & q_{13}^i/q_{12}^i & \dots & q_{1p}^i/q_{12}^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/q_{1p}^i & q_{12}^i/q_{1p}^i & q_{13}^i/q_{1p}^i & \dots & 1 \end{pmatrix}, i = \overline{1,4}. \quad (4)$$

Матриці $Q_i, i = \overline{1,4}$, вже є добре узгодженими. Далі обчислюємо міри належності кожного з варіантів комплектування відповідним нечітким множинам (що визначаються критеріальними функціями):

$$\mu(K_j) = \frac{1}{wk_{1j} + wk_{2j} + \dots + wk_{pj}}, j = \overline{1, p}, \quad (5)$$

де wk_{lj} – елементи матриць $Q_i, i = \overline{1,4}$. Таким чином, одержимо нечіткі множини

$$F_i = \left\{ \frac{\mu_{F_i}(K_1)}{K_1}; \frac{\mu_{F_i}(K_2)}{K_2}; \dots; \frac{\mu_{F_i}(K_p)}{K_p} \right\}, \quad (6)$$

або

$$F_i = \left\{ \frac{1/(1 + \sum_{j=1}^p \frac{1}{q_{1j}^i})}{K_1}; \frac{1/(1 + q_{12}^i + \sum_{j=3}^p \frac{q_{1j}^i}{q_{12}^i})}{K_2}; \dots; \frac{1/(1 + q_{1p}^i + \sum_{j=2}^{p-1} \frac{q_{1j}^i}{q_{1p}^i})}{K_p} \right\}, i = \overline{1,4}. \quad (7)$$

Значення, що знаходяться в чисельнику, вказують на те, наскільки функціональні, потужні, надійні та прийнятні за ціною є варіанти комплектування (в знаменнику).

Враховуючи, що найкращим є той варіант, який одночасно найкращий за усіма критеріями, нечіткий розв'язок F знаходимо як перетин критеріїв F_i :

$$F = F_1 \cap F_2 \cap F_3 \cap F_4 = \left\{ \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_1)}{K_1}; \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_2)}{K_2}; \dots; \frac{\min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_p)}{K_p} \right\}. \quad (8)$$

Найкращим варіантом є той, який є розв'язком задачі пошуку

$$\arg \max_{j=1, p} \min_{i=1,4} \mu_{F_i}(K_j). \quad (9)$$

Якщо враховувати важливість критеріальних функцій, то підхід до визначення оптимального варіанта комплектування залишається незмінним, а вираз (7) перепишемо таким чином:

$$F_i = \left\{ \frac{(1/(1 + \sum_{j=1}^p \frac{1}{q_{1j}^i}))^{\beta_i}}{K_1}; \frac{(1/(1 + q_{12}^i + \sum_{j=3}^p \frac{q_{1j}^i}{q_{12}^i}))^{\beta_i}}{K_2}; \dots; \frac{(1/(1 + q_{1p}^i + \sum_{j=2}^{p-1} \frac{q_{1j}^i}{q_{1p}^i}))^{\beta_i}}{K_p} \right\}, i = \overline{1,4}. \quad (10)$$

Розв'язок задачі (9) визначає оптимальний варіант комплектування і дозволяє враховувати міру оптимальності його вибору, виходячи із значення відповідної функції належності.

Експериментальна верифікація методу комплектування АРТ на основі експертних висновків. Припустимо, що необхідно вибрати один з шести варіантів комплектування АРТ, виходячи із висновків шести експертів. На першому етапі здійснимо попарне порівняння критеріальних функцій. Одержимо такі матриці:

$$G_1 = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 7 \\ 0,14 & 1 & 1 & 5 \\ 0,2 & 1 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,2 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}; G_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 0,2 & 1 & 3 & 7 \\ 1 & 0,33 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,14 & 0,14 & 1 \end{pmatrix};$$

$$G_3 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 9 & 5 \\ 0,11 & 1 & 5 & 9 \\ 0,11 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,2 & 0,1 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}; G_4 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 5 & 7 \\ 0,1 & 1 & 5 & 7 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,14 & 0,14 & 0,1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$G_5 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 & 5 \\ 0,3 & 1 & 1 & 1 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,14 & 0,14 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}; G_6 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 7 & 1 \\ 0,2 & 1 & 9 & 5 \\ 0,14 & 0,1 & 1 & 9 \\ 1 & 0,2 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Компетентності експертів визначені особою, що приймає рішення, і вони є такими:

$$\gamma_1 = 0,34; \gamma_2 = 0,24; \gamma_3 = 0,2; \gamma_4 = 0,14; \gamma_5 = 0,05; \gamma_6 = 0,03.$$

Максимальні власні числа матриць $G_i, i = \overline{1,6}$ такі:

$$\lambda_1 = 4,35; \lambda_2 = 4,77; \lambda_3 = 5,45; \lambda_4 = 5,13; \lambda_5 = 4,26; \lambda_6 = 6,99.$$

Таким чином, індекси узгодженості дорівнюють $\delta_1 = 0,35; \delta_2 = 0,77; \delta_3 = 1,45; \delta_4 = 1,13; \delta_5 = 0,26; \delta_6 = 2,99$.

Найкращим чином узгоджені висновки першого і п'ятого експертів, висновки шостого експерта потрібно коригувати.

Додаючи матриці $G_i, i = \overline{1,6}$ за описаною вище процедурою, одержимо матрицю

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 6,94 & 4,7 & 6,32 \\ 0,14 & 1 & 3,08 & 6,36 \\ 0,21 & 0,32 & 1 & 7,64 \\ 0,15 & 0,15 & 0,13 & 1 \end{pmatrix}.$$

Використовуючи (3), розрахуємо пріоритети критеріальних функцій:

$$p_1 = 0,61; p_2 = 0,21; p_3 = 0,14; p_4 = 0,04.$$

Обчислимо значення матриць $Q_i, i = \overline{1,4}$:

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 0,9 & 0,33 & 0,7 \\ 0,33 & 1 & 0,67 & 0,3 & 0,11 & 0,23 \\ 0,5 & 1,5 & 1 & 0,45 & 0,17 & 0,35 \\ 1,11 & 3,33 & 2,22 & 1 & 0,37 & 0,78 \\ 3 & 9 & 6 & 2,7 & 1 & 2,1 \\ 1,43 & 4,29 & 2,86 & 1,29 & 0,48 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 4 & 3 & 0,7 & 0,5 \\ 2 & 1 & 8 & 6 & 1,4 & 1 \\ 0,25 & 0,13 & 1 & 0,75 & 0,18 & 0,13 \\ 0,33 & 0,17 & 1,33 & 1 & 0,23 & 0,17 \\ 1,43 & 0,71 & 5,71 & 4,29 & 1 & 0,71 \\ 2 & 1 & 8 & 6 & 1,4 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0,4 & 0,5 & 2 & 0,8 & 3 \\ 2,5 & 1 & 1,25 & 5 & 2 & 7,5 \\ 2 & 0,8 & 1 & 4 & 1,6 & 6 \\ 0,5 & 0,2 & 0,25 & 1 & 0,4 & 1,5 \\ 1,25 & 0,5 & 0,63 & 2,5 & 1 & 3,75 \\ 0,33 & 0,13 & 0,17 & 0,67 & 0,27 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_4 = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 4 & 0,9 & 4 & 0,8 \\ 0,17 & 1 & 0,67 & 0,15 & 0,67 & 0,13 \\ 0,25 & 1,5 & 1 & 0,23 & 1 & 0,2 \\ 1,11 & 6,67 & 4,44 & 1 & 4,44 & 0,89 \\ 0,25 & 1,5 & 1 & 0,23 & 1 & 0,2 \\ 1,25 & 7,5 & 5 & 1,13 & 5 & 1 \end{pmatrix}.$$

Знаходимо міру належності кожного із варіантів комплектування відповідним нечітким множинам:

$$F_1 = \left\{ \frac{0,12}{K_1}; \frac{0,38}{K_2}; \frac{0,25}{K_3}; \frac{0,11}{K_4}; \frac{0,04}{K_5}; \frac{0,09}{K_6} \right\},$$

$$F_2 = \left\{ \frac{0,10}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,41}{K_3}; \frac{0,31}{K_4}; \frac{0,07}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\},$$

$$F_3 = \left\{ \frac{0,13}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,06}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,10}{K_5}; \frac{0,39}{K_6} \right\},$$

$$F_4 = \left\{ \frac{0,05}{K_1}; \frac{0,36}{K_2}; \frac{0,24}{K_3}; \frac{0,05}{K_4}; \frac{0,24}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}.$$

Нечіткий розв'язок знаходимо як перетин критеріїв $F_i, i = \overline{1,4}$:

$$F = \left\{ \frac{0,05}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,06}{K_3}; \frac{0,05}{K_4}; \frac{0,04}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}.$$

Враховуючи значущість критеріальних функцій, уточнимо одержані результати:

$$F_1 = \left\{ \frac{0,28}{K_1}; \frac{0,55}{K_2}; \frac{0,43}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,14}{K_5}; \frac{0,22}{K_6} \right\},$$

$$F_2 = \left\{ \frac{0,62}{K_1}; \frac{0,54}{K_2}; \frac{0,83}{K_3}; \frac{0,78}{K_4}; \frac{0,58}{K_5}; \frac{0,53}{K_6} \right\},$$

$$F_3 = \left\{ \frac{0,75}{K_1}; \frac{0,66}{K_2}; \frac{0,68}{K_3}; \frac{0,82}{K_4}; \frac{0,72}{K_5}; \frac{0,87}{K_6} \right\},$$

$$F_4 = \left\{ \frac{0,89}{K_1}; \frac{0,95}{K_2}; \frac{0,94}{K_3}; \frac{0,88}{K_4}; \frac{0,94}{K_5}; \frac{0,88}{K_6} \right\}.$$

Тоді, виходячи із (8), одержимо нечіткий розв'язок

$$F = \left\{ \frac{0,28}{K_1}; \frac{0,54}{K_2}; \frac{0,43}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,14}{K_5}; \frac{0,22}{K_6} \right\}.$$

Розв'язком задачі (9) буде варіант комплектування АРТ K_2 , який відповідає максимальному значенню функції належності.

Висновки. Запропонований метод комплектування АРТ є лише одним можливим елементом технології прийняття рішень, що базується на використанні теорії нечітких множин, яка є однією із складових відомої парадигми «Soft Computing». Незважаючи на те, що не всі її положення мають строгі доведення, їх застосування доцільне при розв'язанні задач, пов'язаних із необхідністю врахування експертних висновків. Такою задачею і є комплектування АРТ. Розглядаючи її як задачу багатокритеріальної оптимізації, важливо звертати увагу на значущість критеріальних функцій, оскільки її врахування прямо впливає на вибір розв'язку – варіанта комплектування.

До важливих аспектів, які необхідно брати до уваги при розв'язанні задачі, відноситься наявність змінної кількості елементів у кожному варіанті комплектації. Така обставина вимагає формального визначення критеріальних функцій, оскільки для різного типу обладнання поняття і одиниці вимірювання функціональності та потужності є різними. Експертам має бути доступні дані про порівняльні характеристики елементів АРТ одного класу, а також передбачена можливість приведення різнорідних показників до однієї шкали.

Запропонований метод, окрім переваг, має і певні недоліки. Так, він орієнтований на певну кількість варіантів комплектування, яка не може змінитися в процесі аналізу, і отримані результати не можуть бути використані для оцінки нового варіанту комплектування. Подолати обмеження методу передбачається з використанням й інших складових «Soft Computing», а саме нейронних мереж, еволюційного моделювання, нейро-нечітких мереж, а також їх композицій. Це дозволить здійснювати оцінку того чи іншого варіанту комплектування АРТ на основі вже побудованої моделі. Крім того, можливо здійснити розробку процедури усунення протиріч в оцінках експертів, що буде направлено на певну об'єктивізацію суб'єктивних висновків.

Список літератури: 1. *Martello, S.* [Knapsack problems](#) [Text] / *S. Martello, P. Toth* // Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1990. – P. 221–245. 2. *Pisinger, D.* Algorithms for Knapsack Problems [Text] / *D. Pisinger*. – Copenhagen, Denmark: University of Copenhagen. – 1995. – 199 p. 3. *Eddy, S. R.* What is dynamic programming? [Text] / *S. R. Eddy* // Nature Biotechnology. – 2004. – Vol. 22. – P. 909–910. 4. *Dakin, R. J.* A tree-search algorithm for mixed integer programming problems / *R. J. Dakin* // The Computer Journal. – 1965. – Vol. 8. – P. 250–255. 5. *Thomas, H. C.* et al. Introduction to Algorithms [Text] / *H. C. Thomas et al.* – MIT Press, 2001. – 1292 p. 6. *Holland, J. H.* Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence [Text] / *J. H. Holland*. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p. 7. *Dorigo, M.* Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents [Text] / *M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colomi* // IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern. – 1996. – Vol. 26, № 2. – P. 29–41. 8. *Кормен, Т.* Глава 16. Жадные алгоритмы [Текст] / *Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн* // Алгоритмы: построение и анализ / Introduction to Algorithms. Под ред. И. В. Красикова. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 1296 с. 9. *Снитюк, В.* Информационно-аналитические модели и эволюционные аспекты решения задачи комплектования [Текст] / *В. Снитюк, П. Кучер* // Искусственный интеллект – 2009. – № 4. – С. 268–273. 10. *Саати, Т.* Аналитическое планирование организации систем [Текст] / *Т. Саати, К. Кернс*. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с. 11. *Снитюк, В. Е.* Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности [Текст] / *В. Е. Снитюк, Рифат Мохаммед Али* // Вісник ЧІТІ. – 2000. – № 4. – С. 121–126.

Bibliography (transliterated): 1. *Martello, S. Toth, P.* (1990). [Knapsack problems](#). Chichester, UK: John Wiley and Sons, 221–245. 2. *Pisinger, D.* (1995). Algorithms for Knapsack Problems. Copenhagen, Denmark: University of Copenhagen, 199. 3. *Eddy, S. R.* (2004). What is dynamic programming? Nature Biotechnology, 22, 909–910. 4. *Dakin, R. J.* (1965). A tree-search algorithm for mixed integer programming problems. The Computer Journal, 8, 250–255. 5. *Thomas, H. C. et al.* (2001). Introduction to Algorithms. MIT Press, 1292. 6. *Holland, J. H.* (1994). Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence. London: Bradford book edition, 211. 7. *Dorigo, M., Maniezzo, V., Colomi, A.* (1996). Ant System: Optimization by a colony of

cooperating agents. IEEE Trans. Syst., Man. and Cybern., 26, 29–41. 8. *Kormen, T., Leyzerson Ch., Rivest, R., Shtayn, K.* (2005). Glava 16. [Chadnie algoritmi](#). V knize “Algoritmi: postroenie i analiz. Introduction to Algorithms, Moskva, Villiams, 1296. 9. *Snytyuk, V., Kucher, P.* (2009). Informazionno-analiticheskie modeli I evolutsiionnie aspekti reshenia zadachi komplektovaniya. Iskusstvennyy intellect, Donetsk, 4, 268–273. 10. *Saati, T., Kerns, T.* (1991). Analiticheskoe planirovanie organizatsii system. Radio i svyaz, Moskva, 224. 11. *Snytyuk, V., Rifat, Mohammed Ali.* (2000). Modeli i metodi opredeleniya kompetentnosti ekspertov na baze aksiomi nesmeschennosti. Visnik ChITI, Cherkassi, 4, 121–126.

Надійшла (received) 02.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Кришталь Василь Миколайович – старший викладач, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, Кафедра пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт; вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, Україна, 18034; тел.: 093-147-05-33; e-mail: kryshstal.v@ukr.net.

Кришталь Василь Миколайович – старший преподаватель, Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины, Кафедра пожарной тактики и аварийно-спасательных работ; ул. Оноприенко, 8, г. Черкассы, Украина, 18034; тел.: 093-147-05-33

Vasyl Kryshstal – senior lecturer, the department fire tactics and rescue operations, [Cherkassy Institute of Fire Safety named after Heroes of Chornobyl of National University of Civil Defense of Ukraine](#), str. Onoprienko 8, Cherkasy, Ukraine, 18034; tel.: 093-147-05-33; e-mail: kryshstal.v@ukr.net.

Сергеев Антон Валерійович – аспірант, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Кафедра інтелектуальних та інформаційних систем; вул. Ломоносова 81, м. Київ, Україна, 03022; тел.: 091-951-73-81; e-mail: a.serhieiev@gmail.com.

Сергеев Антон Валерьевич – аспирант, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Кафедра интеллектуальных и информационных систем; ул. Ломоносова 81, г. Киев, Украина, 03022; тел.: 091-951-73-81; e-mail: a.serhieiev@gmail.com.

Anton Serhieiev – postgraduate, Taras Shevchenko National University of Kyiv, department of intellectual and information systems; str. Lomonosov 81, Kyiv, Ukraine, 03022; tel.: 091-951-73-81; e-mail: a.serhieiev@gmail.com.

Снитюк Віталій Євгенович – доктор технічних наук, професор; Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри інтелектуальних та інформаційних систем; вул. Ломоносова 81, м. Київ, Україна, 03022; тел.: 050-313-13-42; e-mail: snytyuk@gmail.com.

Снитюк Віталій Євгеньевич – доктор технических наук, професор; Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, заведующий кафедрой интеллектуальных и информационных систем; ул. Ломоносова 81, г. Киев, Украина, 03022; тел.: 050-313-13-42; e-mail: snytyuk@gmail.com.

Vitaliy Snytyuk – doctor of technical sciences, professor; Taras Shevchenko National University of Kyiv, head of the department of intellectual and information systems; str. Lomonosov 81, Kyiv, Ukraine, 03022; tel.: 050-313-13-42

УДК 614.771

Д. Ю. БУВАЛЕЦЬ, О. Є. КАПУСТІН

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ ЦИНКОМ И ДРУГИМИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

На примере г. Мариуполь рассмотрено загрязнение тяжелыми металлами городских почв, речных вод и донных отложений в условиях влияния предприятий черной металлургии. Проведенные исследования позволили установить степень и характер загрязнения территории г. Мариуполь различными тяжелыми металлами. Было выяснено, что загрязнение хромом, медью и никелем носит характер очагов, локализованных вблизи металлургических предприятий. В то время как загрязнение цинком и свинцом носит повсеместный характер. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего мониторинга загрязнения города тяжелыми металлами и разработки мер повышения экологической безопасности.

Ключевые слова: цинк, свинец, хром, медь, никель, тяжелые металлы, почва, загрязнение территорий, металлургические отходы, экологическая безопасность.

Введение. Почва и речные воды промышленных городов по химическому составу часто значительно отличаются от природных ресурсов. Черная и цветная металлургия, энергетика, нефтяная промышленность и другие производства являются источниками выбросов в атмосферу различных загрязняющих веществ.

Среди них важное место занимают тяжелые металлы.

Негативное влияние тяжелых металлов на почву заключается в ухудшении структуры, агрохимических свойств. Происходит угнетение растений, возрастает роль спорозоных грибов и бактерий. Попадая в во-

© Д. Ю. Буваець, О. Є. Капустін. 2015

доемы и реки, тяжелые металлы влияют на экологические системы. Токсическое действие тяжелых металлов усиливается тем, что многие из них проявляют выраженные комплексообразующие свойства, имеют переменную валентность и участвуют в окислительно-восстановительных процессах.

Для человека опасность проявляется не только в прямом воздействии высоких концентрации, но и в отдаленных последствиях. Тяжелые металлы способны аккумулироваться в организме, их выведение происходит крайне медленно. Многие тяжелые металлы в организме человека оказывают токсическое действие, увеличивают шанс возникновения онкологических заболеваний.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Загрязнение территорий тяжелыми металлами в районах действия металлургических предприятий является одной из актуальных экологических проблем. В связи с тем, что металлургические предприятия часто расположены на территории больших городов, в зоне загрязнения оказываются густонаселенные районы. Вокруг предприятий черной металлургии наблюдается повышенное содержание в почвах и поверхностных водах Ni, Pb, Cu, Zn, Mn, W, Co [1]. В зависимости от преобладания другой тяжелой промышленности в регионе, элементный состав загрязнения окружающих территорий может отличаться.

Загрязнение почвенного покрова металлургическим производством, по сведениям большинства авторов [2–5], происходит через атмосферу. Выбросы при высокотемпературных металлургических процессах содержат значительное количество пыли, которая является источником поступления тяжелых металлов в окружающую территорию. Основная часть крупнодисперсной металлургической пыли выпадает из атмосферы вблизи источника выбросов. Мелкодисперсная пыль разносится на большие расстояния. Основным фактором содержания тяжелых металлов в почвах является отдаленность от металлургического завода [6].

Различные исследования [7–11] загрязнений городских территорий тяжелыми металлами показывают отличия в степени и элементном составе загрязнения. Однако наличие очагов с превышением уровня ПДК тяжелых металлов в промышленных городах является общей чертой.

На территории г. Мариуполь находятся два металлургических комбината и торговый флот. Выбросы в атмосферу, сброс сточных вод являются постоянными источниками загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами. Места удаления и хранения отходов также являются источниками химического загрязнения поверхностных и подземных вод, атмосферного воздуха, почвы. Однако конкретный уровень загрязнения городских почв до настоящего времени изучен не был. Проведение регулярного мониторинга содержания тяжелых металлов в окружающей среде промышленного города необходимо для определения наиболее эффективных мер по повышению экологической безопасности.

Цели и задачи исследования. Целью данного исследования является оценка влияния металлургического

производства на загрязнения почвы, речных вод и донных отложения г. Мариуполь.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Проведение сбора проб и химического анализа почвы, речных вод и донных отложений г. Мариуполь.

2. Определение степени и характера загрязнения городских территорий тяжелыми металлами.

3. Оценка влияния выбросов металлургического производства на содержание тяжелых металлов в окружающей среде г. Мариуполь.

Методика проведения анализа загрязнений почвы, речных вод и донных отложений. Отбор проб почвы проводился на территории жилых районов г. Мариуполь с 30 участков с интервалом 2 км. Также была отобрана серия проб с участков с предполагаемым хроническим загрязнением. Пробы почвы не отбирались на территориях металлургических заводов. Отбор проб осуществлялся согласно ГОСТ 17.4.4.01–83 «Общие требования к отбору проб почвы»; ГОСТ 17.4.4.02–84 «Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа».

Отбор проб донных отложений проводился в месте впадения реки Кальмиус в Азовское море с помощью батометра. Определение валового содержания цинка и других тяжелых металлов проводилось методом рентгено-флуоресцентного анализа.

Содержание цинка, железа, меди, хрома и марганца также было определено в водах р. Кальмиус и р. Кальчик. Пробы отбирались в черте города и на 10 км выше по течению. Анализ проводился в соответствии с «Инструктивными указаниями по отбору проб для определения физико-химических показателей качества воды». Определение металлов в речной воде проводилось колориметрическими методами.

Объектом исследования является экологическая безопасность территории промышленного города.

Предметом исследования является загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами.

Результаты и обсуждения исследования загрязнения городских территорий тяжелыми металлами. В результате проведенного анализа почв города были выявлены превышения уровня ПДК для хрома, меди, никеля, цинка и свинца.

Содержание хрома в почвах города составляет от 40 мг/кг до 300 мг/кг. Уровень ПДК для хрома не установлен нормативными документами. Нами для сравнения использовался фоновый уровень содержания хрома в районе г. Мариуполь, который составил 120 мг/кг. Он был определен на основании 5 точек отбора за границами городских территорий. Превышение фонового уровня содержания хрома на территории города было выявлено на 50 % точек отбора. Они расположены в непосредственной близости к металлургическим предприятиям, на расстоянии до 4 км от границы промышленной зоны металлургических комбинатов.

На рисунке 1 показано содержание меди в отобранных пробах почвы. Уровень ПДК меди в почвах составляет 55 мг/кг. Он превышен в 60 % из отобранных проб. Большая часть этих участков совпадает с

расположением очагов загрязнения хромом и находится вблизи металлургических предприятий, а также торгового флота.

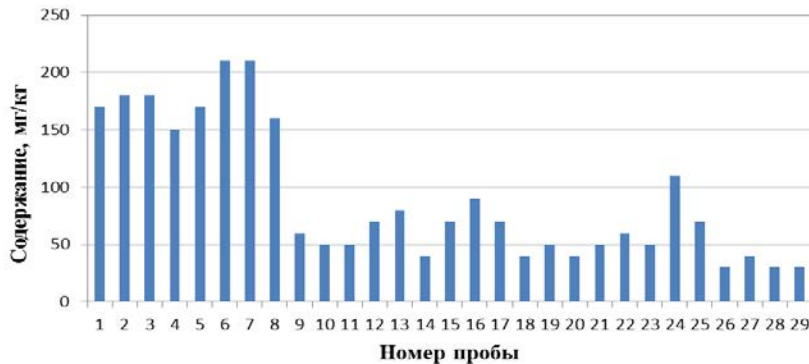


Рис. 1 – Содержание меди в почве г. Мариуполя

Превышение уровня ПДК никеля (85 мг/кг) в почве наблюдается в 30 % проб. Содержание никеля колеблется от 150 до 300 мг/кг на загрязненных участках. На остальной территории города содержание никеля в почве находится на уровне 70 мг/кг. Загрязненные участки также находятся вблизи металлургических заводов.

Таким образом, на территории г. Мариуполь вокруг предприятий черной металлургии образовались участки с одновременным загрязнением почвы несколькими тяжелыми металлами. Такой локальный характер загрязнения указывает, что источником загрязнения являются выбросы крупнодисперсной металлургической пыли, которая выпадает на расстоянии до 4 км от промышленной зоны. Как и в большинстве случаев, в г. Мариуполь на этом расстоянии от территории металлургических производств находятся жилые районы. Вокруг предприятий образуется неблагоприятная санитарно-экологическая зона.

Содержание кадмия в почве колеблется между минимумом 0,25 мг/кг и максимумом 1,5 мг/кг. Максимальная допустимая концентрация кадмия, которая по украинским нормам составляет 1,0 мг/кг воздушно-сухой почвы, превышает на 5 точках отбора проб. Причем участки с превышением уровня ПДК кадмия находятся в различных районах города и не связаны с размещением металлургических предприятий. Можно отметить, что уровень содержания кадмия в почвах г. Мариуполь находится в пределах нормы.

Результаты оценки загрязнения почвы свинцом и цинком показали повсемест-

ный характер загрязнения. Превышение уровня ПДК для цинка и свинца было выявлено в 26 из 30 проб. Содержание цинка в жилых районах составило от 50 мг/кг до 300 мг/кг при нормированном значении валового содержания 100 мг/кг.

Результаты анализа содержания свинца и цинка в почве показаны на рисунках 2 и 3. Содержание свинца достигает значения 150 мг/кг при значении ПДК 32 мг/кг.

Загрязнение почвенного покрова металлургическим производством, по сведениям большинства авторов, происходит через атмосферу. Из результатов анализа почвенного покрова видно, что загрязнения почвы цинком и свинцом в сравнении с вышеперассмотренными металлами имеет различный характер. Превышение уровня ПДК наблюдается на всей территории города, а не только вблизи металлургических производств. Можно предположить, что основным источником загрязнения окружающей среды г. Мариуполь цинком и свинцом является мелкодисперсная пыль, которая в виде металлоносных аэрозолей распространяется в воздухе по площади всего города.

Для проверки этой гипотезы было рассмотрено содержание металлов в воздухе и выбросах пыли с различным размером фракции.



Рис. 2 – Содержание свинца в почве г. Мариуполя

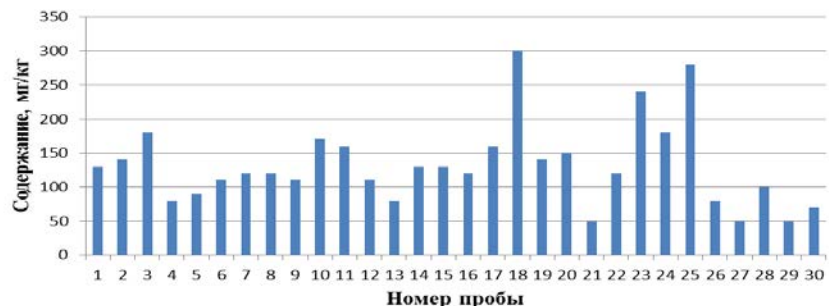


Рис. 3 – Содержание цинка в почве г. Мариуполя

Мариуполь – один из главных центров металлургического производства в Украине. Металлургические

комбинаты являются источниками значительного количества выбросов в атмосферу. В последние годы в городе все больше уделяется внимание общественному движению за чистый воздух. Увеличение транспортного потока в последние годы усугубляет проблему загрязнения в городе. Данные государственного мониторинга качества атмосферного воздуха показывают значительное постоянное превышение уровня ПДК для пыли в 1,3 раза на протяжении как минимум последних 10 лет. Однако содержание тяжелых металлов непосредственно в воздухе не превышает уровень ПДК. Пыль, содержащая тяжелые металлы, оседает на территории города и загрязняет почвы и воды.

Рассмотрение химического состава крупнодисперсных пылевидных выбросов металлургических предприятий города показал, что она на 40 – 50 % состоит из оксидов железа, и также содержит 9 – 15 % оксида кремния, 7 – 12 % оксида кальция. Содержание цинка и свинца в пыли фракцией более 40 мкм незначительны и составляют около 0,05%. Химиче-

ский состав фракции менее 30 мкм отличается. Мелкодисперсная пыль содержит меньше оксидов железа - около 15 %, а содержание цинка возрастает до 1,5 %, свинца - до 3 %.

Таким образом, можно предположить, что основным источником загрязнения почвы г. Мариуполь цинком и свинцом являются именно мелкодисперсные пылевидные отходы металлургического производства.

Также были исследованы участки с предполагаемым хроническим экологическим загрязнением. Такими в г. Мариуполь являются территории вокруг радиаторного завода, шлаковой горы, а также пойма р. Кальмиус. Результаты представлены в табл. 1. Из результатов видно, что на территории города, кроме повсеместного загрязнения почвы цинком и свинцом, также находятся участки с превышением уровня ПДК до 10 раз. Наиболее загрязненным местом на населенной территории г. Мариуполь оказался радиаторный завод.

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов на участках хронического загрязнения

Место отбора	Медь	Никель	Свинец	Цинк
Радиаторный завод	124 - 242	23 - 60	70 - 313	289 - 960
Шлаковая гора	97 - 126	24 - 93	21 - 74	68 - 474
Пойма р.Кальмиус	158 - 213	44 - 88	45 - 64	327 - 439
ПДК	55	85	32	100

На рассмотренных участках наблюдается превышение уровня ПДК меди до 4 раз. В тоже время ожидаемое загрязнение никелем выявлено не было.

Загрязнение речных вод на территории г. Мариуполь происходит городскими сточными водами и стоками металлургических предприятий. В отличие от почвы, где тяжелые металлы накапливаются и закрепляются, в речных водах содержание тяжелых металлов зависит от мощностей производства. Так периоды экономического кризиса и спада производства характеризовались уменьшением содержания тяжелых металлов в речных водах.

На данный момент (табл. 2) в водах рек на территории города наблюдается небольшое превышение ПДК для железа меди и цинка, превышение для хрома в 4-5 раз, и наибольшее для марганца - до 10 раз. Причем, загрязнение марганцем наблюдается в реках и выше по течению. Этот вопрос требует дальнейшего изучения. Наибольшее загрязнение наблюдается в устье р. Кальмиус, содержание цинка, свинца, железа и марганца здесь выше, чем на других точках контроля. Содержание железа в устье р. Кальмиус превышает уровень ПДК в 4 раза.

Таблица 2 –Содержание тяжелых металлов в водах рек Кальмиус и Кальчик, мг/дм³

Элемент	ПДК	р. Кальмиус		р. Кальчик	
		11 км выше города	в городе	10 км выше города	в городе
Железо(общ)	0,1	0,087	0,141	0,107	0,152
Медь	0,001	0,003	0,003	0,002	0,004
Цинк	0,01	0,014	0,020	0,014	0,015
Хром	0,001	0,004	0,006	0,005	0,004
Марганец	0,01	0,059	0,078	0,091	0,108

По результатам исследования состава донных отложений в месте впадения р. Кальмиус в Азовское море превышение пдк в 2 раза наблюдалось для свинца, цинка и марганца. Пока уровень их содержания не является критичным, но требует дальнейшего контроля. Следует обратить внимание на то, что с 2010 года содержание тяжелых металлов в донных отложениях стабильно возрастает.

Основные направления повышения экологической безопасности металлургического производства –

модернизация устаревших процессов, минимизация образования и утилизация образующихся отходов. Уменьшение выбросов тяжелых металлов в атмосферу требует введения технологий вывода их из металлургического цикла.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено:

1. На территории г. Мариуполь выявлено загрязнение почвы хромом, медью, никелем, цинком и

свинцом. По характеру загрязнения тяжелые металлы можно разделить на две группы. Загрязнение хромом, медью и никелем имеет вид очагов вокруг металлургических комбинатов и торгового флота. Превышение уровня ПДК для этих металлов составляет 3 – 4 раза. Основным источником загрязнения являются выбросы крупнодисперсной пыли при высокотемпературных металлургических процессах. Загрязнение свинцом и цинком наблюдается на всей территории города и составляет для цинка - до 3 раз, для свинца – до 5 раз превышения уровня ПДК. Источником загрязнения являются выбросы в атмосферу мелкодисперсной пыли, которая содержит 1,5 % цинка и 3 % свинца.

2. Воды р. Кальмиус и р. Кальчик на территории города характеризуются превышением уровня ПДК для железа и цинка до 2 раз. Содержание хрома превышает уровень ПДК в 5 раз, марганца – до 10 раз. Загрязнение марганцем также наблюдается и выше по течению рек. В донных отложениях р. Кальмиус в месте впадения в Азовское море установлено превышение пдк в 2 раза для свинца, цинка и марганца. В течение последних 5 лет содержание тяжелых металлов в донных отложениях стабильно возрастает.

Список литературы: 1. Васильев, А. А. Тяжелые металлы в почвах города Чусового: оценка и диагностика загрязнения: монография [Текст] / А. А. Васильев, А. Н. Чащин. – Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 197 с. 2. Алексеев, Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте [Текст] / Ю. В. Алексеев. – СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. – 216 с. 3. Бычинский, В. А. Экологическая геохимия: Тяжелые металлы в почвах в зоне влияния промышленного города [Текст] / В. А. Бычинский. – Иркутск: Иркутский государственный университет, 2008. – 189 с. 4. Джувеликян, Х. А. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв: Учебное пособие [Текст] / Х. А. Джувеликян. – Воронеж: ВГУ, 2009. – 23 с. 5. Попова, Л. Ф. Тяжелые металлы в почвах промышленного и селитебного ландшафтов города Архангельска [Текст] / Л. Ф. Попова, М. В. Пилюгина // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 5. – С. 69–70. 6. Куранова, А. П. Тяжелые

металлы как экотоксиканты [Текст] / А. П. Куранова, Е. Б. Иванова // Прикладная токсикология. – 2010. – № 2. – С. 14–17. 7. Антонова, Ю. А. Тяжелые металлы в городских почвах [Текст] / Ю. А. Антонова, М. А. Сафонова // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 11. – С. 7–9. 8. Борисочкина, Т. И. Тяжелые металлы в почвах городских и пригородных ландшафтов различных категорий землепользования [Текст] / Т. И. Борисочкина, Л. Г. Маркина // Экология России: на пути к инновациям. – 2015. – № 11. – С. 69–73. 9. Голинская, Л. В. Тяжелые металлы в водных экосистемах Оренбургской области как потенциальные источники снижения качества здоровья населения региона [Текст] / Л. В. Голинская, Г. Н. Соловьев, М. М. Павлова // Здоровье населения и среда обитания. – 2014. – № 7. – С. 40–42. 10. Гапеева, М. В. Тяжелые металлы в воде и донных отложениях Рыбинского водохранилища [Текст] / М. В. Гапеева // Вода: химия и экология. – 2013. – № 5. – С. 3–7. 11. Мещерова, Н. А. Загрязнение тяжелыми металлами почвенного покрова территории промышленного воздействия [Текст] / Н. А. Мещерова // Труды Братского государственного университета. Серия: естественные и инженерные науки. – 2005. – № 1. – С. 106–110.

Bibliography (transliterated): 1. Vasilev, A. A., Chashin, A. N. (2011). Heavy metals in the soils of the city Chusovoy: assessment and diagnosis of pollution. Permian: FGBOU, 197. 2. Alekseev, U. V. (2008). Heavy metals in agricultural landscapes. Saint. Petersburg: PIAF RAN, 216. 3. Buchinski, V. A. (2008). Environmental Geochemistry: Heavy metals in the soil in the zone of influence of the industrial city. Irkutsk: Irkutsk State University, 189. 4. Juvelikian, H. I. (2009). Pollution of soils with heavy metals. Methods of control and regulation of contaminated soils. Voronezh: Voronezh State University, 23. 5. Popova, L. F., Pilugin, M. V. (2008). Heavy metals in the soils of industrial and residential landscapes of the city of Arkhangelsk. Modern high technologies, 5, 69–70. 6. Kyranova, A. P., Ivanova, E. B. (2010). Heavy metals as ecotoxicants. Applied toxicology, 2, 14–17. 7. Antonova, U. A., Safonova, M. A. (2007). Heavy metals in urban soils. Fundamental research, 11, 7–9. 8. Borisochkina, T. I., Markina, L. G. (2015). Heavy metals in the soils of urban and suburban landscapes of various land-use categories. Ecology of Russia: on the road to innovation, 11, 69–73. 9. Golinskaya, L. V., Solovih, G. N., Pavlova M. M. (2014). Heavy metals in aquatic ecosystems of the Orenburg region as potential sources of reducing the quality of health in the region. Public health and environment, 7, 40–42. 10. Gapeeva, M. V. (2013). Heavy metals in water and sediments of the Rybinsk Reservoir. Water: chemistry and ecology, 5, 3–7. 11. Meshherova, N. A. (2005). Heavy metal pollution of soil area of industrial exposure. Works of the Bratsk State University. Series: Natural and engineering sciences, 1, 106–110.

Поступила (received) 28.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Бувалець Дар'я Юрївна - аспірант, Кафедра Хімічної технології та інженерії, Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87500, Україна; тел. 067-291-70-93; e-mail: buvalets@gmail.com.

Бувалець Дар'я Юрївна – аспірант, Кафедра Хімічної технології та інженерії, Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, г. Маріуполь, 87500, Україна; тел. 067-291-70-93; e-mail: buvalets@gmail.com.

Buvalets Daria – graduate student, Department of Chemical Technology and Engineering, Azov State Technical University, ul. University, 7, Mariupol, 87500, Ukraine; tel. 067-291-70-93; e-mail: buvalets@gmail.com.

Капустін Олексій Євгенович - доктор хімічних наук, завідувач кафедри Хімічної технології та інженерії, Приазовський державний технічний університет, вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87500, Україна; e-mail: kapustinlesha@gmail.com.

Капустин Алексей Евгеньевич – доктор химических наук, заведующий кафедры Химической технологии и инженерии, Приазовский государственный технический университет, ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, 87500, Украина; e-mail: kapustinlesha@gmail.com.

Kapustin Alexey - doctor of Chemistry, Head of the Department of Chemical Technology and Engineering, Azov State Technical University, ul. University, 7, Mariupol, 87500, Ukraine; e-mail: kapustinlesha@gmail.com.

КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИЙ ДИЗАЙН

УДК 621.923

В. Н. ГЕЙЧУК

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ РОТОРНОЙ ГОЛОВКИ В МОДУЛЕ "АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ" AUTODESK INVENTOR

Предложена методика оптимизации конструкции узлов по критерию прочности в CAD/CAE системах со встроенными модулями расчета методом конечных элементов с учетом их функциональных ограничений, в частности в Autodesk Inventor. Выполнена оптимизация конструкции роторной головки для магнитно-абразивной обработки в магнитной системе типа "кольцевая ванна". Критерием оптимизации служил коэффициент запаса прочности, одним из основных ограничений – угол наклона рабочего шпинделя в диапазоне 0-60 градусов.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, кольцевая ванна, конструкция, напряжения, оптимизация, запас прочности

Введение. Перед современным станкостроением стоят задачи повышения точности и производительности металлорежущих станков при минимизации их стоимости и сокращении времени на разработку новых конструкций. Решение этих задач возможно при использовании научно обоснованных методик проектирования, базирующихся на математическом моделировании процессов, происходящих в станках.

Развитие методов математического моделирования напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов дает возможность разработки и внедрения достаточно точных и эффективных методик расчета и оптимизации деталей и узлов станков [1, 7, 8, 10, 12].

Одними из наиболее эффективных приложений, позволяющих использовать эти методики, являются CAD/CAM/CAE системы. Наличные сегодня на рынке коммерческие версии САПР верхнего уровня (CATIA, ProEngineering и др.) и анализа (ANSYS, ADAMS, Cosmos/M, NASTRAN, Autodesk Simulation, и др.) требуют создания гибкого интерфейса между двумя указанными классами программного обеспечения. Например, в [11] предлагается подход на основе поэтапного использования CAD/CAE/CAM систем: проектирования с использованием геометрического моделирования; прочностного анализа с использованием концепции "соответствие назначению"; эскизного проектирования и рекомендаций по разработке технологических процессов [9]. Системы среднего уровня (Inventor, SolidWorks, T-Flex, и др.) имеют простейшие встроенные средства для параметрической оптимизации размеров деталей, а для оптимизации конструкций требуется разработка соответствующих методик [1, 5, 12].

Одной из областей требующих применения названных инструментов является проектирование оборудования для обработки в магнитной системе типа "кольцевая ванна" в условиях больших рабочих зазоров ввиду малой изученности технологии и процессов, происходящих в станках этого типа при обработке [2, 3, 4, 6].

Цель и задачи. Целью работы является разработка методики оптимизации конструкций узлов на примере роторной головки для магнитно-абразивной обработки в кольцевой ванне в условиях больших ра-

бочих зазоров в CAD/CAE системе Autodesk Inventor. В качестве критерия оптимизации (целевой функции) служил коэффициент запаса прочности.

Для достижения цели решались следующие задачи:

1. Анализ конструкции роторной головки для определения типов контактов между деталями и выявления преобладающего типа контакта.

2. Подготовка модели к анализу: упрощение модели, создание конфигурации параметров для исследования зависимости коэффициента запаса прочности от угла наклона шпинделя при существующих ограничениях модуля "Анализ напряжений" Autodesk Inventor.

3. Выполнение предварительных расчетов, определение компонентов модели (узлов и деталей), имеющих наименьшие значения минимального коэффициента запаса прочности.

4. Разработка и выполнение корректирующих действий для достижения цели.

5. Параметрическое исследование зависимости коэффициента запаса прочности от угла наклона шпинделя.

Основная часть – параметрическая оптимизация конструкции. Роторная головка (рис. 1) входит в состав экспериментального станка для магнитно-абразивной обработки (МАО) осевого и концевой режущего инструмента, многогранных неперетачиваемых твердосплавных пластин, мелкомодульных цилиндрических зубчатых колес и подобных им деталей.

Она имеет в своем составе две рабочих головки, каждая из которых состоит из поворотной плиты, кронштейна и шпиндельного блока. Шпиндельный блок в кронштейне зажимается двумя Т-образными винтами и фиксируется четырьмя установочными винтами. Ось шпиндельного блока может отклоняться от вертикального положения на угол $\xi = 0-60^\circ$ с шагом 5° . Кронштейн вместе со шпиндельным блоком может перемещаться по Т-образному пазу от оси цилиндрической части поворотной плиты к периферии корпуса роторной головки и поворачиваться вокруг этой оси на 90° с шагом 10° .

© В. Н. Гейчук, 2015

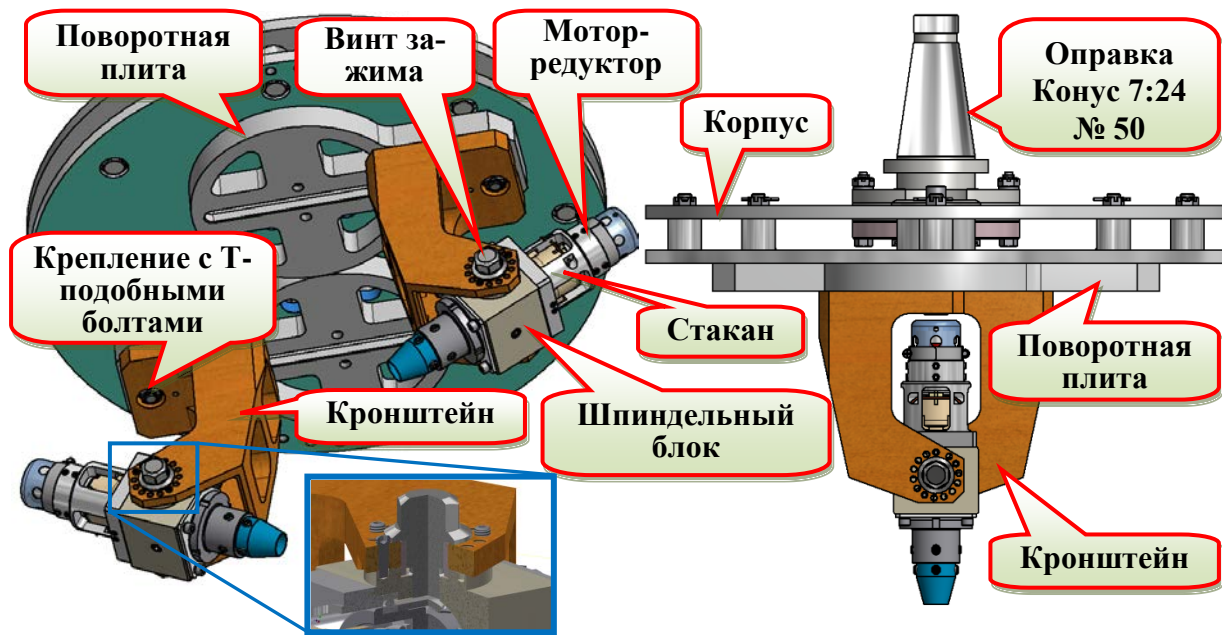


Рис. 1 - Общий вид роторной головки для магнитно-абразивной обработки

Конструкция шпиндельного блока понятна из рис. 2. Здесь лишь заметим, что в качестве привода используется двухступенчатый планетарный мотор-редуктор от шурупверта Makita 6270D с двигателем постоянного тока напряжением 12 В (поз. 24). Фиксатор 9 (отрезок проволоки), вставленный в тангенциальное отверстие в стакане 3, фиксирует рычаг переключения скоростей мотор-редуктора 24.

Корпус 1 по бокам имеет два короткие цилиндрические соосные выступы с цилиндрическими расточками, резьбовыми отверстиями и круговым массивом лунок на торцевой поверхности. Лунки служат для фиксации шпиндельного блока в определенном угловом положении с шагом 5° . Корпус редуктора мотор-редуктора 24 фиксируется в стакане 3 четырьмя установочными винтами 15. Двигатель мотор-редуктора 24 базируется в расточке в задней части стакана 3 и фиксируется установочными винтами 14.

Обрабатываемые заготовки выполняют такие установочные и рабочие движения [3, 4]: вращение вокруг оси кольцевой ванны - главное движение резания; вращение вокруг собственной оси - движение основной круговой подачи; наклон вокруг оси, перпендикулярной оси основной круговой подачи - установочное движение; перемещение в плоскости, касательной к срединному цилиндру (или в параллельной плоскости): горизонтальное - установочное движение; вертикальное - врезания.

В результате анализа конструкции и работы роторной головки сделаны следующие выводы: расчету необходимо подвергнуть одну рабочую головку с поворотной плитой без корпуса; наиболее часто в модели встречается контакт "Скольжение / Без разделения".

Для создания конфигурации параметров создаем конструктивную зависимость "Угол" между осью шпинделя и осью цилиндрической части поворотной плиты. Кронштейн со шпиндельным блоком должен иметь на поворотной плите такое положение, чтобы отрезок оси обрабатываемой поверхности разделялся осью цилиндрической части поворотной плиты напо-

ловину. Это положение (при каждом значении угла наклона оси шпинделя) можно задать, например, через переменную $L = f(\xi)$. Это может быть расстояние между осью цилиндрической части оборотной плиты и плоской вертикальной гранью кронштейна. Но при параметрическом исследовании это решение приведет к тому, что переменную L выбрать будет невозможно [13, 14]. Если переменную L сделать независимой, и каждому значению угла наклона ξ поставить в соответствие значение L , то придется создавать отдельные конфигурации параметров для каждой пары $\{\xi_i, L_i\}$.

Поэтому решим эту задачу иным способом. В модели обрабатываемой детали (цилиндрический стержень) на оси посередине обрабатываемого участка (отделенный участок поверхности, равный длине рабочей части) создать закрепленную рабочую точку и с помощью команды "Совмещение".

Потом в сборке необходимо создать конструктивную зависимость между этой точкой и осью цилиндрической части поворотной плиты.

В ходе подготовки модели из анализа исключаются компоненты: винты 19 (рис. 2), винты 13, вставки 10, фиксатор 9, винты 16, колпачок 11 и хомут 25. Основные материалы, присвоенные деталям рабочей головки, представлены в таблице 1. Все остальные детали имеют материалы, рекомендуемые нормативными документами в соответствии с их назначением и условиями эксплуатации. Создана конфигурация параметров со значениями угла наклона $\xi = \{0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ\}$. Базовой является конфигурация при $\xi = 60^\circ$.

Нагрузки сосредоточены на обрабатываемой заготовке (рис. 3, а), кроме инерционных сил от вращения роторной головки вокруг оси кольцевой ванны, которые действуют на все детали роторной головки, и от вращения шпинделя вокруг собственной оси, действующие на детали шпиндельного узла. Нужно учесть, что модели нагрузки тела можно приложить только один раз [14].

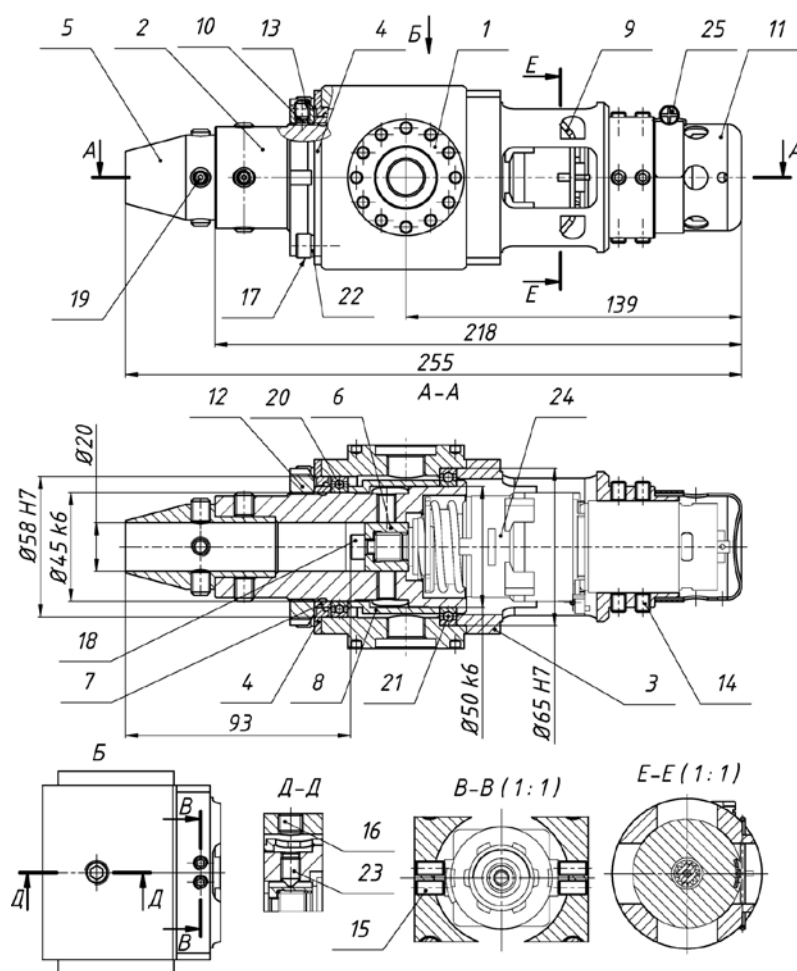


Рис. 2 - Конструкция шпиндельного блока роторной головки

Таблица 1 - Основные материалы, присвоенные деталям рабочей головки

Деталь	Марка материала
Плита поворотная, корпус шпиндельного блока, стакан мотор-редуктора, кронштейн	В95 ГОСТ 4784-97 (Плита ГОСТ 17232-99)
Шпиндель	Сталь 40Х ГОСТ 4543-71
Т-образные болты, втулка распорная,	Сталь 20Х ГОСТ 4543-71
Втулки, втулка-муфта	Сталь 45 ГОСТ 1050-80
Держатель, винт зажимной	Сталь 12Х18Н9Т ГОСТ 7350-77
Модель обрабатываемой заготовки	Сталь Р6М5 ГОСТ 19265-73

При магнитно-абразивной обработке линейная скорость главного движения при обработке большинства деталей в два-три раза превышает скорость вокруг собственной оси [6]. Поэтому инерционными нагрузками от вращения шпинделя вокруг собственной оси в данном случае пренебрегаем. При необходимости их учета, нужно выполнить расчет в модуле "Динамическое моделирование" [13, 14]. При приложении нагрузок нужно учесть то, что осевая сила сопротивления магнитно-абразивного порошка движения обрабатываемой заготовки зависит от угла ξ наклона оси шпинделя (рис. 3, б) и при $\xi = 0$ равна нулю. К верхней грани поворотной плиты применима зависимость "Зависимость фиксации".

Для упрощения модели между цилиндрическими поверхностями передней расточки шпинделя 2 и держателя 4, и отверстием держателя 4 и обрабатываемой деталью присваивается тип контакта "Связано". Между стержнями Т-образного болтов и отверстиями

кронштейна (рис. 1) созданы контакты "Скольжение / Без разделения". В местах резьбовых соединений созданы контакты "Связано". К таким контактам и соединений относятся следующие соединения: втулки 6 (рис. 2), навинченной на конец выходного вала мотор-редуктора 24 (рис. 2) и стопорного винта 18 ввинченного в отверстие на его торце. При необходимости получить более точное решение нужно к деталям крепления силы затяжки.

Рекомендуется использовать модели подшипников, которые являются одной деталью (*.ipt), элементы которой - отдельные тела (рис. 4, а, б). Кроме того, рекомендуется просмотреть все автоматически созданные контакты тел качения с дорожками и подавить контакты между галтелями подшипника и гранями вала и отверстия (рис. 4, в). В зависимости от полей допуска посадки внутреннего и внешнего колец подшипника контактам граней этих деталей с валом или с отверстием следует назначать типы контактов, указанные в табл. 2.

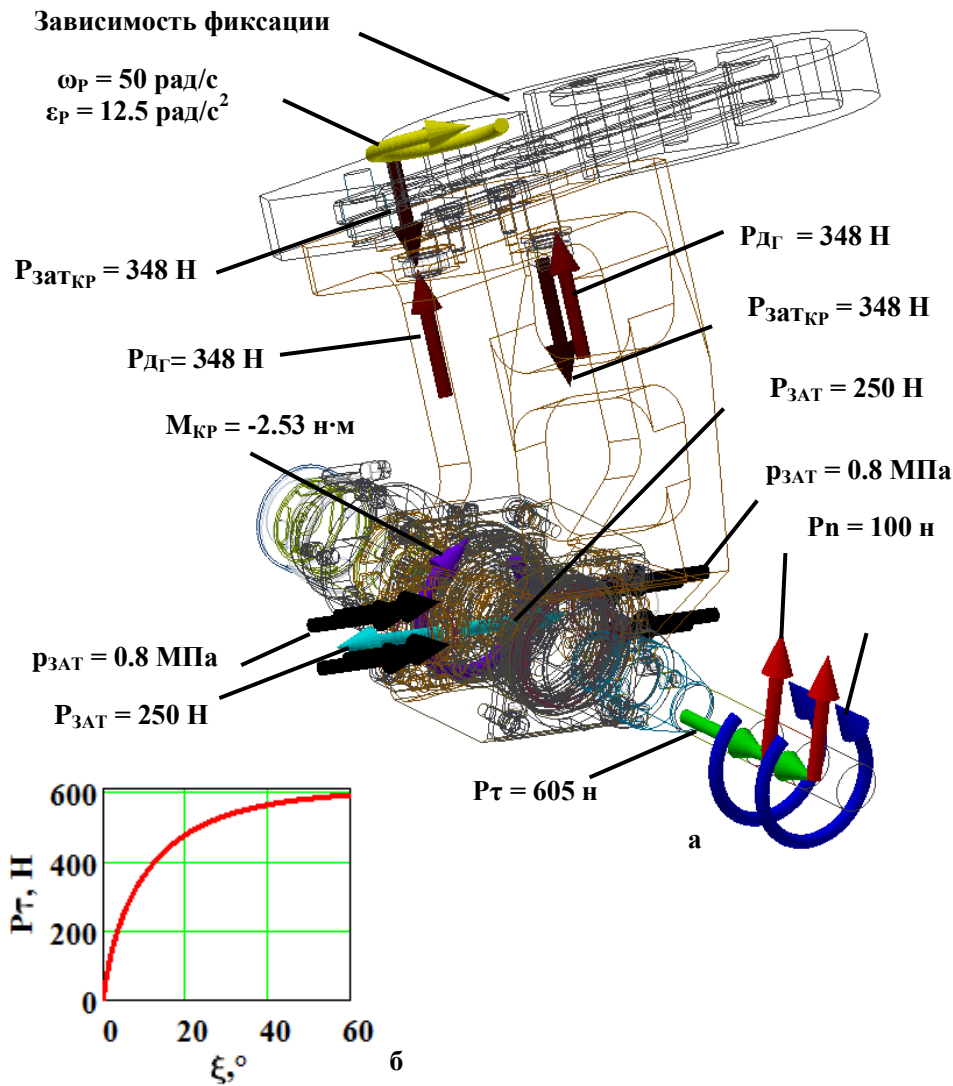


Рис. 3 – Зависимости и нагрузки рабочей головки: а - схема нагрузки; б - зависимость осевой нагрузки на заготовку от угла наклона шпинделя ω_p -угловая скорость главного движения; ϵ_p - угловое ускорение главного движения; R_n , R_{τ} - нормальная и тангенциальная сила при движении заготовки через магнитно-абразивный порошок; $M_{кр}$ - крутящий момент при вращении заготовки в МАП; $R_{\text{зат}}$ - давление в стыках от силы зажима корпуса шпиндельного узла; $R_{\text{зат}}$ - сила зажима корпуса шпиндельного узла; $R_{\text{затКР}}$ - сила прижима кронштейна к крутящей плиты; $R_{\text{ДГ}}$ - сила давления гайки на кронштейн ($R_{\text{затКР}} = R_{\text{ДГ}}$)

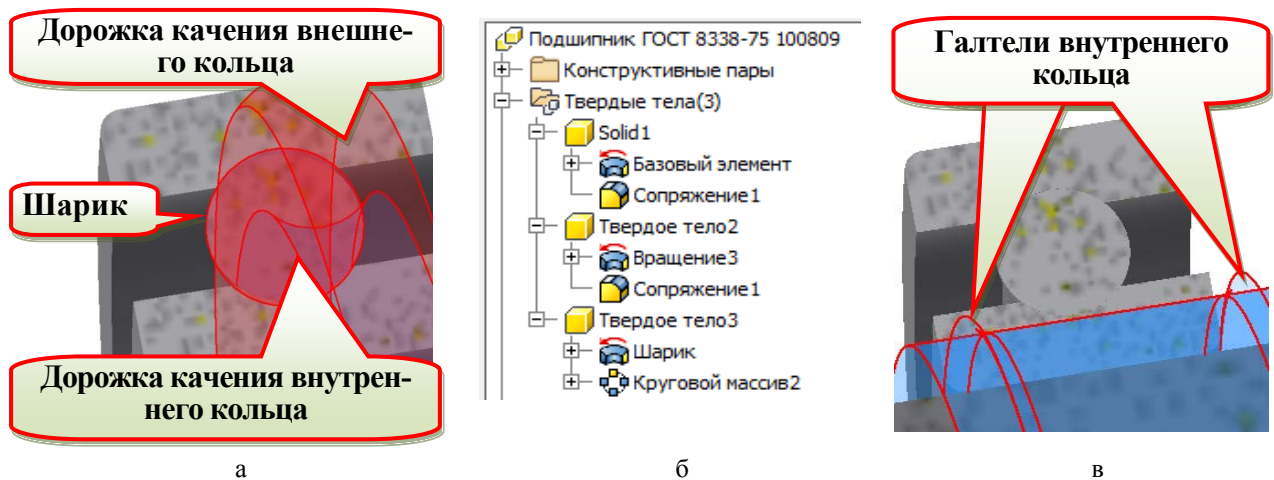



Рис. 4 - Создание контактов между деталями подшипника: а - выбор тел (элементов); б - отображение структуры модели подшипника является одной деталью, но состоит из различных тел; в - пример создания системой контакта между гранями, наименьшее расстояние между которыми находится в пределах допуска

Таблица 2 - Соответствие между посадками колец подшипников и типами контактов

Увеличение натяга		Посадка	Тип контакта
		С зазором	"Скольжение / Без разделения"
		Переходная	"Скольжение / Без разделения" "Горячая посадка / Скольжение"
		С натягом	"Горячая посадка / Без скольжения"

Результаты предварительных расчетов позволяют сделать вывод, что в целом прочность головки обеспечена - минимальный коэффициент запаса прочности составляет $k_{\text{зап}} \approx 1,27$ (рис. 5). Максимальные смещения составляют всего 0.3 мм задней части двигателя. С помощью датчика "Минимальное значение", инструментов "Видовой куб" и "Орбита", команд "Изолировать" и "Половинное сечение", определено, что деталью с наименьшим коэффициентом запаса прочности является подшипник задней опоры.

Следующие, большие по величине, значения коэффициента запаса прочности имеют установочные винты 14 (рис. 2) крепления мотора в стакане 3. Минимальные значения коэффициента запаса прочности составляют $k_{\text{зап}} \approx 1.56 \div 2.25$. Причиной относительно низких значений коэффициента запаса прочности этих винтов являются:

- к нагрузкам от сил резания и инерционных сил добавляются силы зажима мотора;
- прочностные свойства материала: предел текучести $\sigma_T = 207$ МПа и временное сопротивление разрыву $\sigma_B = 207$ МПа.

Для повышения коэффициента запаса прочности предложены следующие изменения в конструкции шпиндельного блока:

- установить в задней опоре два подшипника 100810 (рис. 6), соответственно изменив некоторые размеры сопряженных деталей;
- заменить материал установочных винтов крепления мотора в стакане на Сталь 45 ГОСТ 1050-80 с закалкой (класс прочности винтов 14Н);
- сквозное отверстие стакана выполнить ступенчатым с небольшим буртом в задней части - для того, чтобы смещение мотора воспринимались стаканом.

Параметрическое исследование зависимости минимального коэффициента запаса прочности измененной конструкции от угла наклона оси шпинделя показало, что при угле наклона $\xi = 45^\circ$ минимальное значение коэффициента прочности $k_{\text{зап}} \approx 1.35$ имеет корпус шпиндельного блока в локальной области на торце цилиндрического выступа (рис. 7, табл. 3). Все остальные детали имеют минимальное значение коэффициента прочности $k_{\text{зап}} \geq 3.0$.

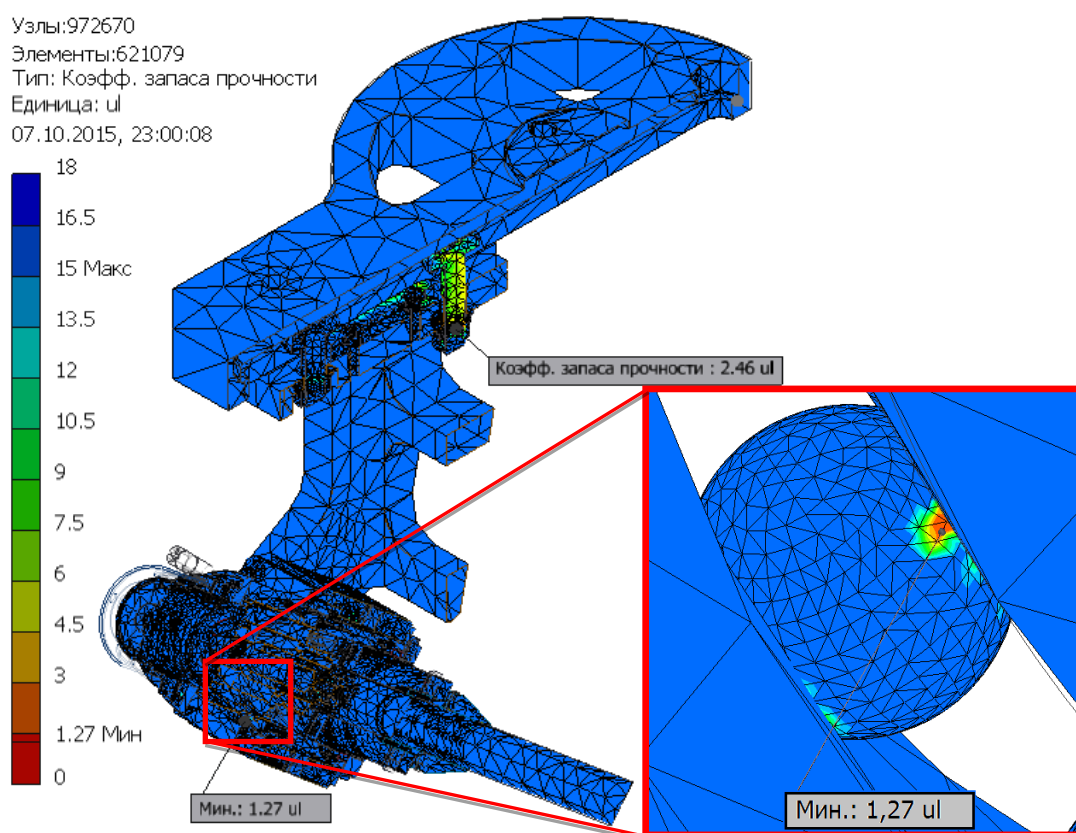


Рис. 5 - Выдержка из графических изображений результатов расчета рабочей головки

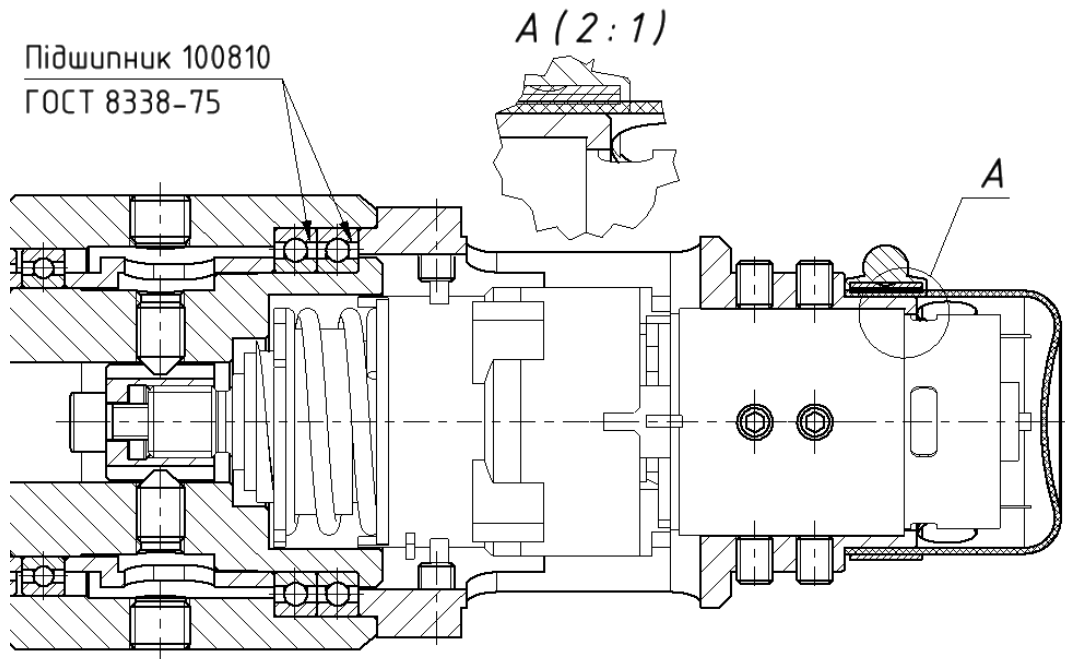


Рис. 6 – Фрагмент осевого разреза шпиндельного узла с задней опорой (два подшипника 100810 ГОСТ 8338-75)

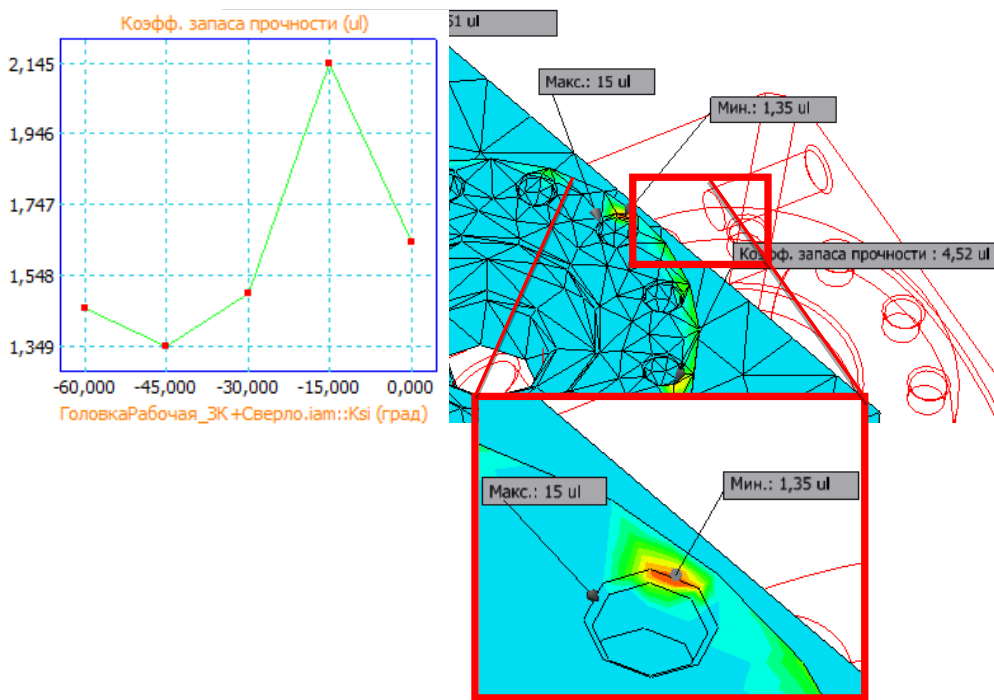


Рис. 7 – Минимальный коэффициент запаса прочности рабочей головки – зависимость коэффициента от угла ξ наклона оси шпинделя и расположение и размеры зоны с наименьшим значением коэффициента запаса прочности при $\xi = 45^\circ$

Исходя из данных табл. 3 прочность головки обеспечена. Минимальное значение коэффициента, если не учитывать локальную область корпуса шпиндельного блока, имеет винт крепления втулки-муфты к выходному валу мотор-редуктора. При необходимо-

сти повысить коэффициент запаса прочности винта можно применить винты класса прочности 12.9.

Приведенную методику, учитывая результаты работы [12], можно обобщить в виде блок-схемы, представленной на рис. 8.

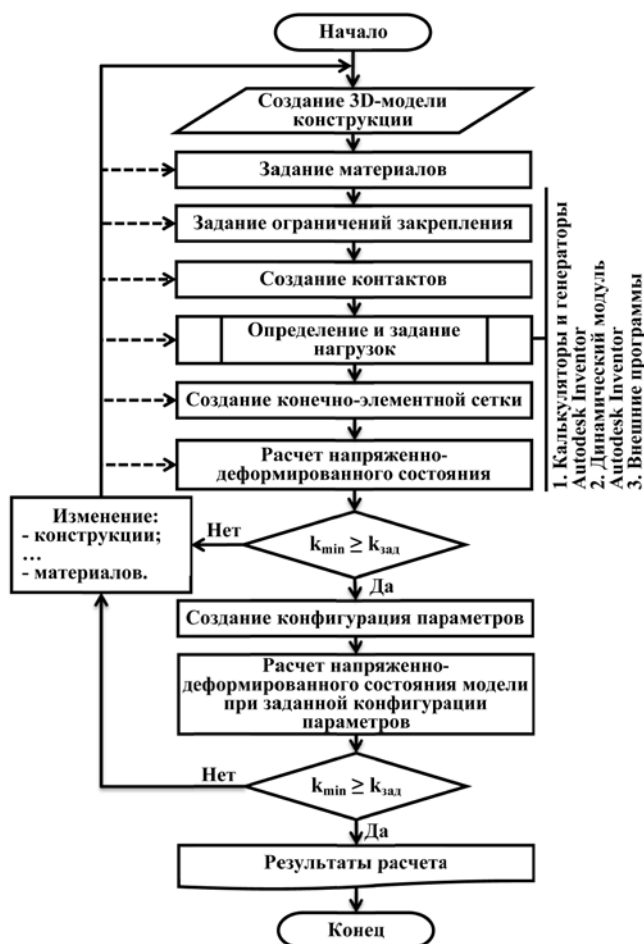


Рис. 8 – Последовательность оптимизации конструкций по критерию прочности в Autodesk Inventor

Таблица 3 – Минимальные значения коэффициенту запаса прочности в зависимости от угла наклона оси шпинделя рабочей головки с конструктивными изменениями (рис. 6)

$\xi, ^\circ$	Минимальный коэффициент запаса прочности k_{zan}^{\min}		Следующее по величине значение коэффициенту запаса прочности $k_{zan} \geq k_{zan}^{\min}$	
	Значение	Деталь (по рис. 2)	Значение	Деталь (по рис. 2)
0	1,65	Пружинная шайба под передним Т-образным болтом кронштейна	2,01	Винт поз. 18
15	2,1	Пружинная шайба под передним Т-образным болтом кронштейна	2,73	Втулка центрирования корпуса 1 относительно кронштейна
30	1,5	Винт поз. 18	2,94	Корпус поз. 1
45	1,35	Корпус поз. 1	2,99	Винт поз. 18
60	1,46	Винт поз. 18	2,69	Крышка поз. 4

Выводы

1. Методика оптимизации конструкций узлов во многом определяется такими факторами: общей последовательностью выполнения анализа напряжений; типом и сложностью структуры (конструкции) объекта оптимизации; целью и критерием оптимизации.

2. Разработанная методика позволяет конструктору оптимизировать конструкции узлов по критерию прочности в CAD/CAE системах со встроенными модулями расчета методом конечных элементов с учетом их функциональных ограничений, в частности в Autodesk Inventor.

Список литературы: 1. Алямовский, А. А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одицов, А. И. Харитонович,

Н. Б. Пономарев. - СПб.: БХВ-Петербург, 2008. - 1040 с. 2. Гаврушкевич, А. Ю. Анализ кинематики магнитно-абразивной обработки цилиндрических зубчатых колес в кольцевой ванне. Электронный ресурс [Текст] / А. Ю. Гаврушкевич, В. Н. Гейчук // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. - 2015. - Том 3, № 1. - С. 21-28. Режим доступа до статті: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1364921> / <http://www.indust-engineering.ru/issues/2015/2015-1-4.pdf>. 3. Гейчук, В. Н. Кинематика формирования кромок магнитно-абразивной обработкой. Электронный ресурс [Текст] / В. Н. Гейчук, А. Ю. Гаврушкевич // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. - 2014. - Том 2, №4. - 25-32. Режим доступа до статті: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1355331> / <http://www.indust-engineering.ru/issues/2014/2014-4.pdf>. 4. Гейчук, В. М. Синтез кинематики процессу магнитно-абразивної обробки в кільцевій ванні [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Гейчук Володимир Миколайович. - Київ, 2012. - 472 с. 5. Кульга, К. С. Применение CAD/CAE-систем для проектирования компонентов гибких производственных систем для механообработки корпусных деталей [Текст] / К. С. Кульга, А. А. Карюгин,

А. Ю. Головицин и др. // CAD/CAM/CAE Observer #6 (90). - 2014. - С. 51-62. **6.** Майборода, В. С. Основы створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь [Текст]: дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода Віктор Станіславович. - Київ, 2001. - 404 с. **7.** Москалева, Т. С. CAD/CAE - технології в учебном процесі 2-х рівневого навчання і наукових дослідженнях. Електронний ресурс [Текст] / Т. С. Москалева, И. В. Емельянова, Н. В. Емельянов, В. Л. Зубенко // Доклади конференції "Системи проектування, технологічної підготовки виробництва і управління етапами життєвого циклу промислового продукту". CAD/CAM/PDM. Самара. - 2012. Режим доступу до статті: <http://lab18.ipu.ru/projects/conf2012/2/27.htm>. **8.** Пузанов, А. В. Інженерний аналіз в Autodesk Simulation Multiphysics: методическе керівництво [Текст] / А. В. Пузанов. - М.: ДМК Пресс, 2013. - 912 с. **9.** Резников, М. В. Разработка метода интеграции CAD-CAE систем [Текст] / М. В. Резников, А. С. Горбачев // Известия Волгоградского государственного технического университета: меж-вуз. сб. науч. ст. № 9(35) / ВолгГТУ. - Волгоград, - 2007. - С. 114-118. **10.** Сергеекин О. А. Влияние силовых смещений корпусных деталей на точность станков [Текст]: дисс. ... канд. техн. наук: 05.03.01 / Сергеекин Олег Анатольевич. - Москва, 2004. - 194 с. **11.** Терлецкая, А. М. Комплексная методика автоматизированного анализа элементов пространственных верстаков с использованием CAD/CAE-систем [Текст] / А. М. Терлецкая, Г. Т. Даненова, И. Г. Лимарева, Ж. С. Сайлауқызы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. - 2014. - №5. - С. 36-40. **12.** Чуприна, В. М. Динамічні розрахунки верстаків та їх вузлів за методом кінцевих елементів у САПР [Текст] / В. М. Чуприна // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія "Технічні науки" : науковий збірник / Черніг. держ. технол. ун-т. - Чернігів: Черніг. держ. технол. ун-т. - 2013. - № 2 (65). - С. 81-92. **13.** Waguespack, C. Mastering Autodesk Inventor 2015 and Autodesk Inventor LT 2015: Autodesk Official Press. Sybex. 2014. - 1056 pages. **14.** <http://help.autodesk.com/view/INVTOR/2016/RUS/>

Bibliography (transliterated): **1.** Alyamovskiy, A. A., Sobachkin, A. A., Odintsov, E. V., Kharitonovich, A. I., Ponomarev, N. B. (2008). SolidWorks 2007/2008. Komp'yuternoe modelirovanie v inzhenernoy praktike [Computer modeling in engineering practice]. Saint Petersburg: VKhV-Peterburg [in Russian]. **2.** Gavrushkevich, A. Yu., Geichuk, V. N. (2015). Analiz kinematiki magnitno-abrazivnoy obrabotki tsilindricheskikh zubchatykh koles v kol'tsevoy vanne [Kinematic analysis of magnetic-abrasive machining cylindrical gears in the ring bath]. *Mashinostroenie: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal - Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 3 (1), 21-28. Retrieved from <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1364921> [in Russian]. **3.** Geichuk, V. N., Gavrushkevich, A. Yu. (2014). Kinematika formirovaniya kromok magnitno-abrazivnoy obrabotkoy [Kinematics edges forming magnetic abrasive finishing]. *Mashinostroenie: setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal - Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2(4), 25-32. Retrieved from <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=1355331> [in Russian]. **4.** Geichuk, V. M. (2012). Syntez kinematyky protsesu mahnitno-abrazivnoy obrabotki v kiltseviy vanni [Kinematics synthesis of magnetic abrasive processing in the ring bath]. Doctor's thesis. Kyiv: NTUU "KPI" [in Ukrainian]. **5.** Kul'ga, K. S., Karyugin, A. A., Golovitsin, A. Yu., Mukhametzyanov, R. R., Rakhmatullin, V. R., Nikolaev, D. A., et al. (2014). Primeneniye CAD/CAE-sistem dlya projektirovaniya komponovok gibkikh proizvodstvennykh sistem dlya mekhanooobrabotki korpusnykh detaley [Application of CAD / CAE-systems for designing layouts of flexible manufacturing systems for the machining of body parts]. CAD/CAM/CAE Observer, 6 (90), 51-62 [in Russian]. **6.** Maiboroda, V. S. (2001). Osnovy stvorenniya i vykorystanniya poroshkovoho mahnitno-abrazivnoho instrumentu dlya finisnoi obrabotki fasonnykh poverkhon [Foundations of creation and usage of powder magnetic abrasive tool for finishing processing of shaped surfaces]. Kyiv: Doctor's thesis. NTUU "KPI" [in Ukrainian]. **7.** Moskaleva, T. S., Emel'yanova, I. V., Emel'yanov, N. V., Zubenko, V. L. CAD/CAE - tekhnologii v uchebnom protsesse 2-kh urovnevoogo obucheniya i nauchnykh issledovaniyakh [CAD / CAE - technology in the educational process 2-level teaching and research]. Proceedings of the conference "Systems design, technological preparation of production and management stages of the life cycle of an industrial product". CAD/CAM/PDM. Samara. Retrieved from <http://lab18.ipu.ru/projects/conf2012/2/27.htm>. **8.** Puzanov, A. V. (2013). Inzhenernyy analiz v Autodesk Simulation Multiphysics: metodicheskoe rukovodstvo [Engineering analysis in Autodesk Simulation Multiphysics: methodological guide]. Moscow: DMK Press [in Russian]. **9.** Reznikov, M. V., Gorobtsov, A. S. (2007). Razrabotka metoda integratsii CAD-CAE sistem [Development of the method of integration of CAD-CAE systems] *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta - Proceedings of Volgograd State Technical University*, 9 (35). Volgograd. VolgGTU, 114-118 [in Russian]. **10.** Sergeikin, O. A. (2004). Vliyaniye silovykh smeshcheniy korpusnykh detaley na tochnost' stankov [Influence of power displacement of case details on exactitude of machine tools]. Moscow: Candidate's thesis. BMSTU [in Russian]. **11.** Terletskaya, A. M., Danenova, G. T., Limareva, I. G., Saylaukyzy, Zh. S. (2014). Kompleksnaya metodika avtomatizirovannogo analiza elementov prostranstvennykh mekhanizmov s ispol'zovaniem CAD/CAE-sistem [Complex technique of the automated analysis of the elements of spatial arrangements using CAD / CAE-systems]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamentalnykh issledovaniy - International Journal of applied and fundamental Research*, 5(2). Moscow. Academy of natural History, 36-40 [in Russian]. **12.** Chupryna, V. M. (2013) Dynamichni rozrakhunki verstativ ta yikh vuzliv za metodom kintsevykh elementiv u SAPR [Dynamic analysis tools and their components by finite elements in CAD]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky" - Proceedings of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences"*. 2(65) Chernigiv. ChNTU, 81-92 [in Ukrainian]. **13.** Waguespack, C. (2014). Mastering Autodesk Inventor 2015 and Autodesk Inventor LT 2015: Autodesk Official Press. Sybex, 1056. **14.** <http://help.autodesk.com/view/INVTOR/2016/RUS/>

Поступила (received) 25.10.2015

Сведения об авторах / Відомості про авторів / About the Authors

Гейчук Владимир Николаевич – доктор технических наук, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт", доцент, профессор кафедры "Конструирование станков и машин"; адрес 03056, г. Киев, пр. Победы, 37, корп. 1, к. 230 ; тел.: 067-436-98-44; e-mail: geychukw@mail.ru; poroshinw@gmail.com.

Гейчук Володимир Миколайович – доктор технічних наук, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", доцент, професор кафедри "Конструювання верстатів та машин"; адреса 03056, г. Київ, пр. Перемоги, 37, корп. 1, к. 230; тел. : 067-436-98-44; e-mail: geychukw@mail.ru; poroshinw@gmail.com.

Geichuk Volodymyr – Doctor of Technical Sciences, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", associate professor, professor of the department "Construction machinery and vehicles"; Address 03056, Kyiv, Pr. Victory, 37, Bldg. 1, k. 230; tel. : 067-436-98-44; e-mail: geychukw@mail.ru; poroshinw@gmail.com.

УДК 629.7.025.7

И. Б. КОВТОНЮК

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОНКОГО ПРОФИЛЯ С ИНТЕРЦЕПТОРОМ

На основе метода дискретных вихрей получены аэродинамические характеристики тонкого профиля с интерцептором, расположенным на нижней поверхности профиля. Для проверки достоверности результатов вычислительного эксперимента проведено сравнение полученных данных с расчетами других авторов. Проведены методические исследования влияния числа вихрей, моделирующих профиль с интерцептором, на точность определяемых аэродинамических характеристик. Проанализирована картина распределения давления при обтекании профиля с интерцептором и выявлена физическая сущность образования управляющего эффекта. Установлено, что данный орган управления является вихревым, так как управляющий эффект создается пеленой, сходящей с интерцептора.

Ключевые слова: профиль крыла, аэродинамические характеристики, интерцептор, коэффициент давления, вычислительный эксперимент, вихрь.

Введение. Разработка и модернизация летательных аппаратов (ЛА) предполагает формирование и усовершенствование их аэродинамической компоновки, которая должна обеспечивать требуемые характеристики устойчивости и управляемости ЛА, что особенно актуально для маневренных и дистанционно управляемых ЛА, а также для ЛА с автоматической системой управления полетом.

Для развития маневренных ЛА в настоящее время характерны расширение диапазонов изменения параметров полета, многофункциональность, всережимность, повышение точности управления. Эксплуатационная область режимов полета современных маневренных ЛА ограничена, исходя из недостаточной устойчивости и управляемости ЛА на этих режимах, что приводит к повышению требований к характеристикам устойчивости и управляемости ЛА.

Таким образом, в настоящее время существует широкомасштабное проблемное направление по разработке методов и конструктивных решений, направленных на достижение улучшенных характеристик устойчивости и управляемости маневренных ЛА, которые закладываются уже на концептуальных, ранних этапах разработки.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Одним из важнейших требований к современным истребителям является “сверхманевренность”, рассматриваемая как необходимая составляющая концептуальной разработки перспективных маневренных летательных аппаратов [1, 2]. Реализация “сверхманевренности” предполагает управляемый полет на больших углах атаки. Однако, на этих режимах элероны и флапероны попадают в обширные отрывные зоны на поверхности крыла и теряют свою аэродинамическую эффективность [3, 4]. Потеря аэродинамической эффективности органов управления креном не позволяет выполнить полет на больших углах атаки и полностью реализовать возможности планера ЛА по созданию нормальной перегрузки. Поэтому решение научной проблемы обеспечения аэродинамической эффективности органов управления креном на этих режимах является актуальным.

В работе [5] в качестве возможного органа поперечного управления на больших углах атаки, включая закритические, предложен интерцептор, расположенный на нижней части несущей поверхности.

Цель и задачи исследования. Целью данной статьи является обоснование возможности использования интерцептора, расположенного на нижней ча-

сти несущей поверхности в качестве органа управления креном на больших углах атаки.

Задачей исследования является исследование аэродинамических характеристик тонкого профиля с интерцептором, расположенным на нижней части профиля.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести проверку достоверности результатов вычислительного эксперимента.
2. Методические исследования влияния числа вихрей, моделирующих профиль с интерцептором, на точность аэродинамических характеристик.
3. Исследование физической сущности образования управляющего эффекта.

Материалы и методы исследования аэродинамических характеристик тонкого профиля с интерцептором. При решении задач исследования использовались метод дискретных вихрей [6], а также методы научного обобщения и анализа. Основные положения применяемого метода и система обозначений изложены в [6].

Для проведения исследований была разработана и отлажена программа расчета нелинейных нестационарных аэродинамических характеристик профиля с механизацией. Достоверность расчетов подтверждена сравнением полученных результатов с расчетами, приведенными в [6]. Сходимость наблюдается по мгновенным (рис. 1), суммарным перегрузкам и по форме пелены (рис. 2).

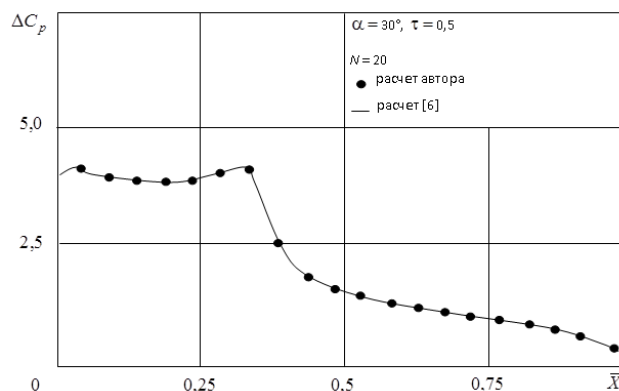


Рис. 1 – Аэродинамическая нагрузка, действующая на профиль в момент времени $\tau = 0,5$

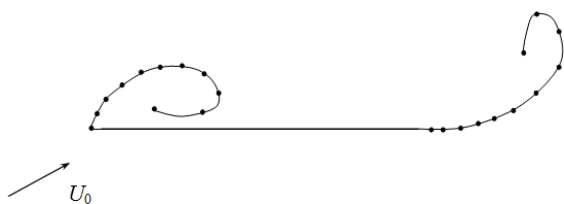


Рис. 2 – Вихреві пелени, сходящие с кромок профиля при $\alpha = 30^\circ$, $\tau = 0,5$, $N = 20$

Также проводилось качественное сравнение картины распределения давления с данными других авторов [7-9]. При сравнении наблюдается удовлетворительная качественная сходимость результатов. Ниже будет показана возможность моделирования известных эффектов, связанных с отрывными и безотрывными течениями, что также свидетельствует о достоверности полученных результатов.

Виды исследуемой механизации, варьируемые параметры

В ходе численного эксперимента рассматривалась механизация профиля в виде интерцептора.

Для профиля с интерцептором варьировались: положение интерцептора вдоль хорды профиля на нижней и верхней поверхности, угол отклонения интерцептора δ_u , хорда интерцептора \bar{b}_u :

$$\bar{b}_u = b_u / b,$$

где b_u – хорда интерцептора, b – хорда профиля.

Осреднение коэффициентов давления и аэродинамических коэффициентов проводилось на интервале изменения безразмерного времени τ :

$$0 \leq \tau \leq 7,5.$$

Эффективность механизации во всех случаях оценивалась по изменению коэффициента нормальной силы C_y профиля с механизацией по сравнению с профилем без механизации.

При проведении расчетов сход пелены моделировался с задних кромок профиля и интерцептора, а, начиная с угла атаки $\alpha = 30^\circ$, - и с передней кромки профиля [6]. На угле атаки $\alpha = 30^\circ$ рассматривались случаи как отрывного, так и безотрывного обтекания.

Результаты методических исследований влияния числа вихрей, моделирующих профиль с интерцептором, на точность аэродинамических характеристик. С целью изучения возможности уменьшения затрат машинного времени при вычислении аэродинамических характеристик профиля с интерцептором проводились методические исследования влияния на точность расчета числа вихрей N , моделирующих профиль и интерцептор, при $\bar{x}_u = 0,225$, $\bar{b}_u = 0,275$, $\delta_u = 45^\circ$. Оценка точности расчетов проводилась по относительной погрешности $\varepsilon = \Delta C_y / C_y$, где ΔC_y – изменение коэффициента нормальной силы в данном расчете по сравнению с базовым. За базовый расчет был принят расчет при

моделировании профиля 20-ю вихрями и интерцептора 5-ю вихрями. При уменьшении числа вихрей, моделирующих профиль, с 20 до 10, а числа вихрей, моделирующих интерцептор, с 5 до 3 относительная погрешность ε составила 1 % (позиция 3 на рис. 3).

Дальнейшее уменьшения количества суммарных вихрей на профиле до 7 при сохранении трех вихрей на интерцепторе приводит к росту относительной погрешности ε до 5 % (позиция 2 на рис. 3). Такая точность еще является удовлетворительной. Последующее же уменьшение моделирующих вихрей приводит к резкому росту ε (позиция 1 на рис. 3). Во всех вышеупомянутых случаях выполнялось требование о примерном равенстве длины расчетных полос на профиле и интерцепторе.

Таким образом, для приемлемого по точности моделирования достаточно размещать 7 вихрей на профиле и 3 вихря на интерцепторе, что позволяет существенно сократить затраты машинного времени при решении задачи в трехмерной постановке. Это обстоятельство может быть использовано при исследовании крыльев с интерцепторами. Однако, для более детального изучения картины распределения давления на профиле и механизации расчеты проводились с использованием для моделирования $N = 25$ вихрей. Собственно профиль моделировался 20-ю вихрями, механизация – 5-ю вихрями.

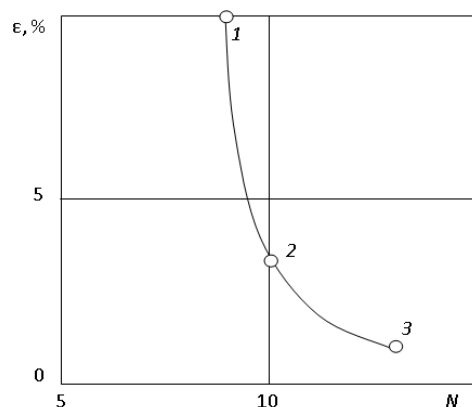


Рис. 3 – Относительная погрешность проведенных расчетов по сравнению с базовым

Обсуждение результатов численного исследования аэродинамических характеристик профиля с интерцептором. Используемая методика расчета позволяет моделировать все основные эффекты, вызванные отклонением механизации профиля. Выпуск интерцептора на профиле при безотрывном обтекании приводит к торможению потока и увеличению давления на верхней поверхности профиля перед интерцептором, увеличению разрежения на нижней поверхности профиля [7]. На рис. 4, 5 приведена картина распределения осредненных коэффициентов давления на нижней C_{pn} и верхней C_{ps} поверхностях при безотрывном обтекании профиля с интерцептором для относительной координаты оси поворота интерцептора $\bar{x}_{u+} = 0,725$ и $\bar{x}_{u+} = 0,225$ соответственно:

$$\bar{x}_u = x_u / b,$$

где X_u – координата оси поворота интерцептора; “+” – означает размещение интерцептора на верхней поверхности профиля, “-” – на нижней.

В обоих случаях $\delta_u = 45^\circ$, $\bar{b}_u = 0,275$, $\alpha = 30^\circ$.

Анализ данных, представленных на рис. 5, 6 подтверждает вышеупомянутые эффекты.

При возникновении отрыва на передней кромке профиля картина распределения давлений существенно меняется. Управляющий эффект при расположении интерцептора вблизи передней кромки создается мощной вихревой пеленой, сходящей с задней кромки интерцептора (рис. 6). Интенсивность этой пелены примерно равна интенсивности носовой пелены, а знак циркуляций свободных вихрей совпадает со знаком циркуляций вихрей кормовой пелены. Проходя под профилем, управляющая пелена создает зону разрежения на его нижней поверхности, а затем, взаимодействуя с кормовой пеленой, высасывается в пространство над верхней поверхностью профиля и потом уносится потоком (рис. 6). При этом в отрывной зоне за интерцептором мощный вихрь, аналогичный на нижней $C_{рн}$ и верхней $C_{рв}$ поверхностях профиля с интерцептором при безотрывном обтекании для $\bar{x}_{u+} = 0,725$

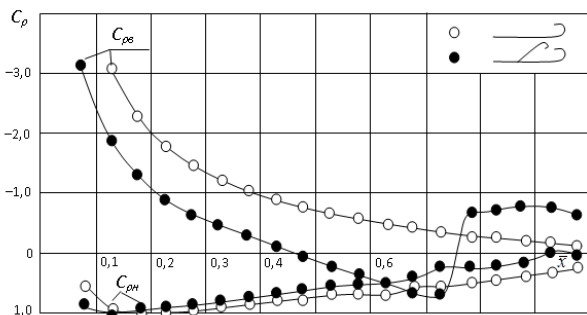


Рис. 4 – Картина распределения осредненных коэффициентов давления

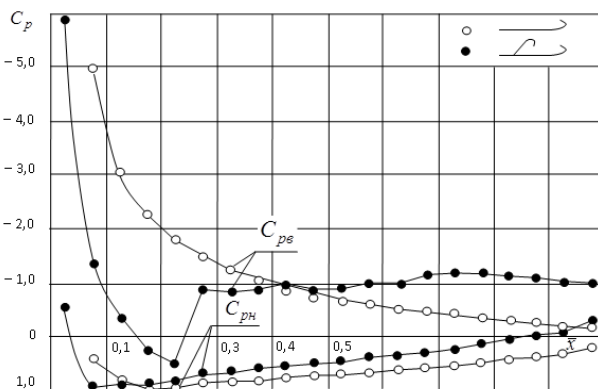


Рис. 5 – Картина распределения осредненных коэффициентов давления на нижней $C_{рн}$ и верхней $C_{рв}$ поверхностях профиля с интерцептором при безотрывном обтекании для $\bar{x}_{u+} = 0,225$ кормовому, не формируется, а существуют лишь отдельные мелкие вихри

Ближний след профиля с интерцептором $\alpha = 35^\circ$, $\bar{x}_u = 0,225$, $\bar{b}_u = 0,275$, $\delta_u = 45^\circ$ изображен на рис. 7.

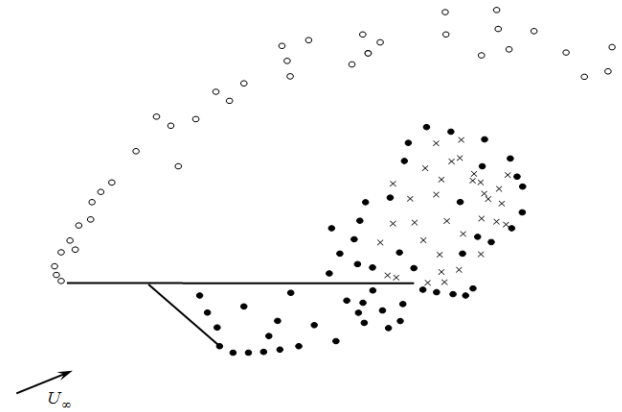


Рис. 6 – Ближний след профиля с интерцептором при $\alpha = 35^\circ$, $\bar{x}_{u+} = 0,225$, $\bar{b}_u = 0,275$, $\delta_u = 45^\circ$:

- – носовая вихревая пелена;
- × – кормовая вихревая пелена;
- – вихревая пелена, сходящая с интерцептора

Суммарное изменение коэффициента C_y при $\alpha = 30^\circ$, $\bar{x}_{u-} = 0,225$, $\bar{b}_u = 0,225$ составляет $\Delta C_y = -0,67$. При этом ΔC_y , вызванное нагрузкой на интерцепторе, равно 0,3. Отсюда следует, что собственно управляющее воздействие составляет $\Delta C_y = -0,97$, а из-за нагружения интерцептора управляющий эффект уменьшается примерно на 30 %.

Таким образом, рассматриваемый орган управления в виде интерцептора, расположенного на нижней поверхности профиля вблизи передней кромки, является вихревым, так как управляющий эффект создается пеленой, сходящей с интерцептора, а не нагрузкой на сам интерцептор [10].

Выводы

1. Для приемлемого по точности моделирования аэродинамических характеристик тонкого профиля с механизацией достаточно размещать 7 вихрей на профиле и 3 вихря на интерцепторе.

2. Установлено, что интерцептор, расположенный на нижней поверхности профиля вблизи передней кромки, является вихревым органом управления, так как управляющий эффект создается мощной вихревой пеленой, сходящей с задней кромки интерцептора, а не нагрузкой на сам интерцептор. Проходя под профилем, управляющая пелена создает зону разрежения на его нижней поверхности, а затем, взаимодействуя с кормовой пеленой, высасывается в пространство над верхней поверхностью профиля и потом уносится потоком.

Список литературы: 1. Булат, П. В. На пути к пятому и шестому поколению. Часть II. Десять лет спустя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://paralay.com/>. 2. Булат, П. В. О сравнении истребителей четвертого и пятого поколения. Часть I. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://paralay.com/>. 3. Лётно-технические характеристики самолета Су-27 [Текст] / М. С. Архипов, В. К. Изнамкин, В. Г. Момджи и др.; под ред. А. И. Нелюбова. – М.: ВВИА

им. проф. Н. Е. Жуковского, 1988. – 139 с. **4.** Летно-технические характеристики самолета МиГ-29 [Текст] / Ф. И. Ганиев, А. А. Новад, В. Н. Петренко и др.; под общ. ред. А. М. Тарасенкова. – М.: ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 1985. – 85 с. **5.** Ковтонюк, И. Б. Аэродинамическая эффективность механизации тонкого профиля в широком диапазоне углов атаки при обтекании потоком идеальной нежимаемой жидкостью [Текст] / И. Б. Ковтонюк // Системы управления, навигации та зв'язку. – 2015. – вип. 1(33). – с. 73–76. **6.** Белоцерковский, С. М. Отрывное и безотрывное обтекание тонких крыльев идеальной жидкостью [Текст] / С. М. Белоцерковский, М. И. Ништ. – М.: Наука, 1978. – 351 с. **7.** Краснов, Н. Ф. Управление и стабилизация в аэродинамике [Текст] / Н. Ф. Краснов, В. Н. Кошевой; под ред. Н. Ф. Краснова. – М.: Высшая школа, 1978. – 480 с. **8.** Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. – М.: Наука, 1969. – 742 с. **9.** Чжен, П. Управление отрывом потока [Текст] / П. Чжен. – М.: Мир, 1979. – 552 с. **10.** Бушуйев, В. И. К теории вихревой механизации [Текст] / В. И. Бушуйев, А. Н. Желанников // Труды ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского. – 1986. – Вып. 1313. – С. 176–182.

Bibliography (transliterated): **1.** Bulat, P. V. On the way to the fifth and sixth generation. Part II. Ten years later. [Electronic resource]. Mode of access: <http://paralay.com/>. **2.** Bulat, P. V. Comparison of fighters of the fourth and fifth generation. Part I. [Electronic resource]. Mode of access: <http://paralay.com/>. **3.** Arkhipov, M. S. Ignatkin, V. K., Momdzh, V. G. etc.; ed. A. I. Nelyubov. (1988). The scheduled performance of the Su-27. Moscow: VVIA them. prof. M. E. Zhukovsky, 139. **4.** Ganiev, F. I., Novad, A. A., Petrenko, V. N., etc.; under the total. ed. Tarasenkova, A. M. (1985). The scheduled performance of the MiG-29. Moscow: VVIA them. prof. N. E. Zhukovsky, 85. **5.** The aerodynamic efficiency of mechanization of thin profile in a wide range of angles of attack at a flow stream of an ideal incompressible fluid. **6.** Belotserkovsky, S. M., Nisht, M. I. (1978). separated and unseparated flow around thin wings of an ideal fluid. Moscow: Nauka, 351. **7.** Krasnov, N. F., Mishka, V. N. (1978). Control and stabilization in aerodynamics. Moscow: Higher School, 480. **8.** Shlihting, G. (1969). *Teoriia pogrannichnogo sloia*. Moscow: Nauka, 742. **9.** Zheng, P. (1979). Management flow separation. Moscow: Mir, 552. **10.** Bushuyev, V., Zhelannikov, A. N. (1986). The theory of vortex mechanization. Proceedings VVIA them. prof. N. E. Zhukovsky, V. 1313, 176–182.

Поступила (received) 29.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Ковтонюк Ігор Борисович – доктор технічних наук, доцент, Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, начальник кафедри аеродинаміки та динаміки польоту; Харківська область, Харківський район, смт Пісочин; тел.: 067-573-20-61; e-mail: igor.kovtonyuk@ukr.net.

Ковтонюк Ігорь Борисович – доктор технических наук, доцент, Харьковский университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, начальник кафедры аэродинамики и динамики полета; Харьковская область, Харьковский район, пгт Песочин; тел.: 067-573-20-61; e-mail: igor.kovtonyuk@ukr.net.

Kovtonyuk Igor – doctor of technical sciences, associate professor, Kharkiv Air Force University named after Ivan Kozhedub, Department of aerodynamics and flight dynamics, Kharkiv region, p. Pesochin; tel.: 067-573-20-61; e-mail: igor.kovtonyuk@ukr.net.

УДК 534.131, 681.819

О. В. АДЄСВ, В. П. ЗАЄЦЬ, С. Г. КОТЕНКО

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОЛИВАНЬ ДЗВОНУ

Проведені експериментальні дослідження звучання корабельного дзвону «ринда» та визначені частоти власних коливань. Побудована комп'ютерна модель дзвону яка повністю відповідає реальному дзвону за геометричними розмірами та фізико-механічних властивостей. Були визначені власні частоти та моди коливань. За експериментальними даними показано, що похибка визначення частот коливань дзвону в комп'ютерній моделі не перевищує 5 % та встановлено відповідність мод коливань частотам в спектрі звуку дзвона.

Ключові слова: власна частота, дзвін, метод кінцевих елементів, моди коливань, спектральний аналіз.

Вступ. Дзвін - інструмент, джерело звуку, що має куполоподібну форму і, зазвичай, язичок, який вдаряється зсередини по стінках інструменту. При цьому, в інших моделях, розгойдуватися може як купол дзвону, так і його язичок. У Західній Європі найбільш поширений перший варіант приведення дзвона в дію. У Росії всюди поширений другий, що дає можливість створювати дзвони надзвичайно великих розмірів таких, як «Цар-дзвін». Відомі також дзвони без язичка, по котрим б'ють молоточком або колодою зовні. Матеріалом для більшості дзвонів служить так звана дзвонова бронза, хоча відомі дзвони із заліза, чавуну, срібла, каменю, теракоти і навіть зі скла [1].

В даний час дзвони широко використовуються в релігійних цілях (заклик віруючих на молитву, вираз урочистих моментів богослужіння), в музиці, в якості сигнального засобу на флоті (ринда), у сільській місцевості невеликі дзвіночки вішаються на шию крупній худобі, маленькі дзвіночки часто використо-

вуються в декоративних цілях. Відомо вживання дзвонів в суспільно-політичних цілях (як набат, для скликання громадян на збори). Історія дзвонів налічує більше 4000 років. Найбільш ранні (XXIII-XVII століття до н. е.). Знайдені дзвони мали невеликі розміри і були виготовлені в Китаї. У Китаї також вперше створили музичний інструмент з декількох десятків дзвонів. У Європі аналогічний музичний інструмент (карильйон) з'явився майже на 2000 років пізніше [2].

Незважаючи на широке використання дзвонів математичний опис їх звучання й донині в повній мірі не виконано. В даній статті наведено експериментальне дослідження корабельного дзвону «ринда» та проведене його комп'ютерне моделювання.

Аналіз літературних джерел. Створення дзвонів завжди відносилось до ремесла, і їх звучання цілком залежало від вмінь та навичок ремісника, які найчастіше передавалися йому у спадщину. Відомі дзвонарі які досягли видатних успіхів у створенні

дзвонів з гармонійною структурою звуку цінувалися і свої знання оберігали як велику таємницю. Тому оцінити розвиток умінь та рівень знань в даній галузі можливо лише за аналізом експериментальних досліджень зразків дзвонів того часу.

Встановлено що основними параметрами, що визначають механізм звукоутворення у дзвонах є частоти і форми коливань вібратора. При ударі важким язичком по нижній частині дзвона в його оболонці збуджуються коливальні процеси складної структури, які складаються з поперечних, поздовжніх і зсувних форм коливань [3].

Дослідження налаштування руських церковних дзвонів, особливо старовинних (XVI-XVII століть), які відрізняються своєрідністю форми і розмірів, показали статистично значущі відхилення від голландського налаштування. Розподіл частот основних обертонів для руських церковних дзвонів і їх порівняння з голландським налаштуванням чітко показують відхилення в налаштуванні, в першу чергу першого і другого обертонів (інтервал між ними менше октави), що частково пояснює особливості їх звучання [4].

В Україні на підставі досвіду російських і болгарських вчених [5 – 7] виконані експериментальні дослідження акустичних властивостей найдревнішого зі збережених дзвона в Україні - дзвін «Мазепа» [8]. Профіль дзвона і його точні розміри були визначені за допомогою лазерного сканування. Форма оболонки дзвону «Мазепа» близька за своїми пропорціями до російських і болгарських дзвонів, особливо в частині нижнього поясу. Визначено спектральний склад звуку дзвону.

Незважаючи на те, що науковим дослідженням звуку дзвонів займаються багато десятиліть, аналіз літератури показав [9-11], що майже немає інформації про способи прогнозування звуку дзвонів, чи створення дзвонів з наперед заданим звучанням.

Одним із напрямків вирішення задачі прогнозування звуку дзвонів може бути побудова математичної моделі дзвону у вигляді фігури обертання із складним профілем, однак на сьогоднішній день дана задача не піддається строгому аналітичному вирішенню.

Іншим шляхом вирішення задачі прогнозування звуку дзвону може бути спосіб комп'ютерного моделювання дзвону з подальшим числовим розв'язком методом кінцевих елементів (МКЕ). Це спосіб обґрунтований тим, що МКЕ досить практичний для його використання на електронній обчислювальній техніці, такий як комп'ютер. Головним недоліком даного методу є не прогнозована точність розв'язку.

Тому в даній статті розглянуто питання можливості побудови комп'ютерної моделі дзвону й оцінки точності визначення власних частот коливань дзвону на основі експериментальних даних. А також аналіз можливих форм коливань дзвону.

Опис дзвону. Експеримент проводився на корабельному дзвоні «ринда». Цей музичний інструмент має наступні параметри: загальна висота 205 мм, зовнішній діаметр (діаметр губи) – 205 мм, стінка дзвона змінної товщини, матеріал з якого виготовлено дзвін – сплав латуні марки ЛЦ16К4 ($\rho=8300 \text{ кг/м}^3$), загальна вага становить 6,6 кг.

Геометричні параметри дзвону та детальна геометрія корпусу дзвона наведена на рис. 1, а, б відповідно [9].

До табл. 2 зведено значення параметрів наведених на рис. 2, б.

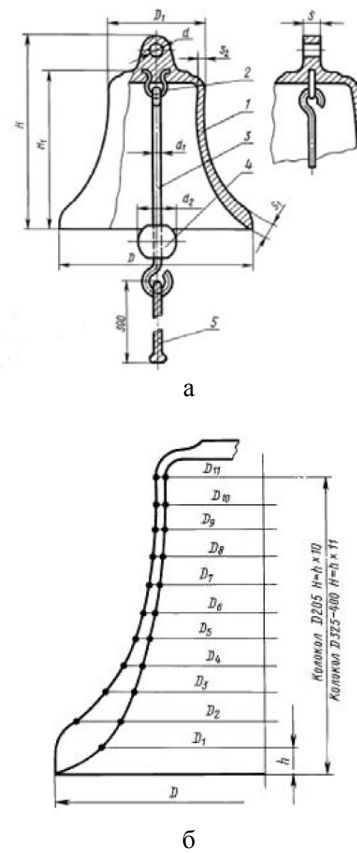


Рис. 1 – Корабельний дзвін Ринда у розрізі: а - конструктивні параметри; б - розмір корпусу дзвону; 1 – корпус; 2 – ушко; 3 – стержень; 4 – бойок; 5 – канат ринда-булінь

Таблиця 1 – Значення конструктивних параметрів дзвону

D_2 , мм	D_1 , мм	H , мм	H_1 , мм	S , мм	S_1 , мм	S_2 , мм	d , мм	d_1 , мм	d_2 , мм
205	102	205	167	18	18	5,0	15	10	40

Таблиця 2 – Розміри корпусу дзвону

D , мм	H , мм	h , мм	$D_{\text{зовнішній}} / D_{\text{внутрішній}}$, мм									
			D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	D_7	D_8	D_9	D_{10}
205	150	15	–	168	143	128	119	113	108	105	104	103
			157	137	122	113	105	101	97	95	94	92

Експериментальне дослідження звуку дзвонів. Проведення експерименту. Експеримент було проведено у заглушеній камері за нормальних умов навколишнього середовища та з використанням обладнання з діючими сертифікатами про повірку. Вимірювання проводилися в дальньому полі відстань від дзвону до точки вимірювання складала більше 5 довжин хвиль звуку найменшої частоти, що випромінюється дзвоном.

Методика проведення даного дослідження полягала у записі звучання інструменту, котрий знаходився у вільному полі. Звук був отриманий за допомогою удару язичка по внутрішній стінці дзвона на висоті 29 мм від губи дзвона. При цьому дзвін був не закріплений.

Результати дослідження звуку дзвона «ринда». Спектральний аналіз звуку дзвона показав, що звук складається з яскраво виражених дискретних складових (рис. 2), частоти яких не утворюють ариф-

метичну прогресію (табл. 3), що характерна для струнних чи духових музичних інструментів.

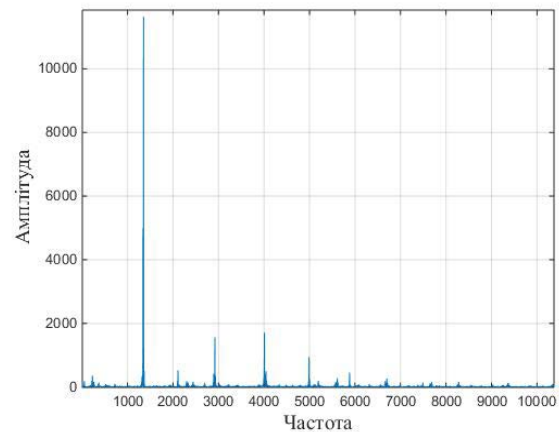


Рис. 2 – Спектр звуку дзвона Ринда

Таблиця 3 – Результати вимірювань

Параметр	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈	F ₉
Частоти Гц	1353	2110	2920	4009	4991	5408	5619	6764	7492
F _n -F _{n-1}		757	810	1089	982	417	211	1145	728

В цілому звук даного дзвона характеризується лише першими дев'ятьма гармоніками. Після дев'ятої гармоніки спектр різко ущільнюється через що виокремити гармоніки стає неможливо. Розглядаючи спектрально-часову характеристику, теж неможливо виокремити більше ніж перші дев'ять частот нормальних коливань досліджуваного дзвона.

Через те, що у звучанні переважають середні та високі частоти, звук цього дзвона має дещо металевий характер.

Комп'ютерне моделювання. Побудова графічної моделі. Комп'ютерне моделювання проводилося в програмі Comsol. Дане програмне забезпечення дозволяє створювати тривимірну графічну модель гео-

метричні розміри якої повністю відповідають реальним досліджуваним музичним інструментам. Слід зазначити, що дзвін Ринда змодельований таким чином, що уся його оболонка є вільною. Фізичні параметри (а саме: густина, швидкість звуку, модуль Юнга, коефіцієнт Пуассона) використаних матеріалів при моделюванні, повністю відповідають латуні ЛЦ16К4 з якої виготовлено дзвін.

Результати моделювання. За результатами комп'ютерного моделювання було отримано ряд частот та мод власних коливань досліджуваного дзвону. Ці частоти приведені у табл.4.

Форми коливань наведені на рис. 3–7.

Таблиця 4 – Отримані частоти для дзвона Ринда

Параметр	F ₁ , Гц	F ₂ , Гц	F ₃ , Гц	F ₄ , Гц	F ₅ , Гц	F ₆ , Гц	F ₇ , Гц	F ₈ , Гц	F ₉ , Гц
Форма коливань	2.0	2.1	3.0	3.1	4.0	2.2	3.2	4.1	5.0
Експериментальні значення	1353	2110	2920	4009	4991	5408	5619	6764	7492
Математично отримані значення	1353	2000	2880	3970	4915	5462	5757	6600	7370
Абсолютна похибка, Гц	0	110	40	39	76	54	138	164	122
Відносна похибка, %	0	-4,8	-1,4	-1,0	-1,5	1,0	2,5	-2,4	-1,6

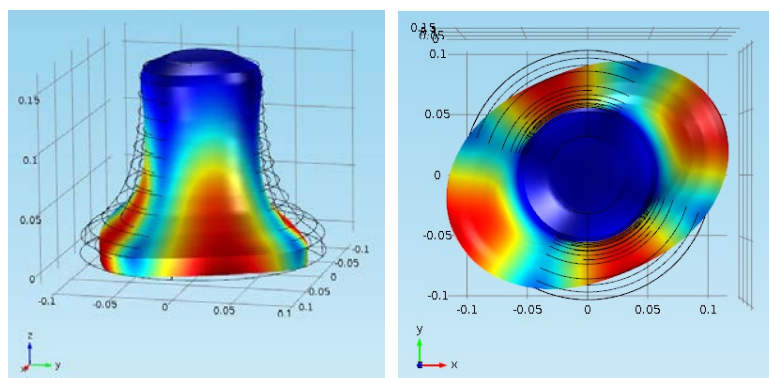
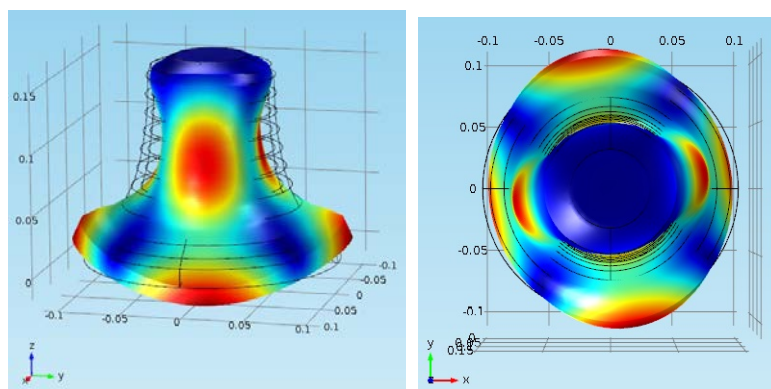
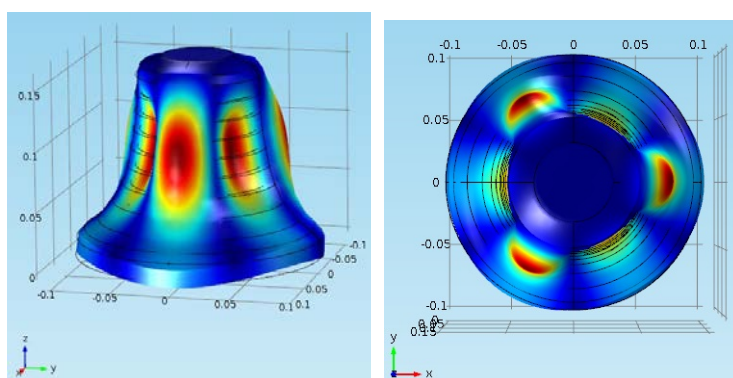
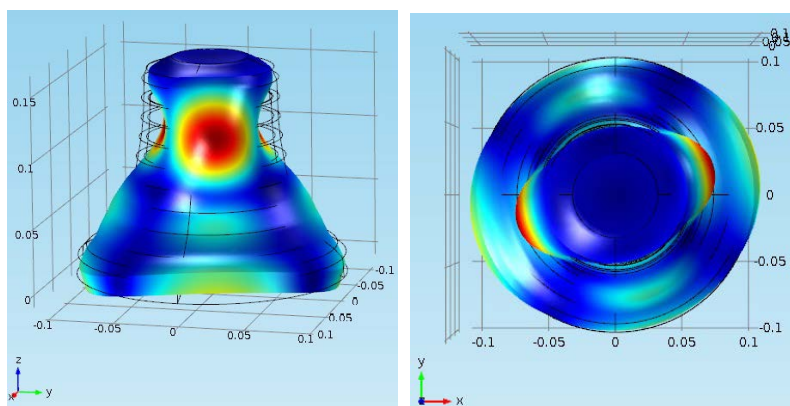
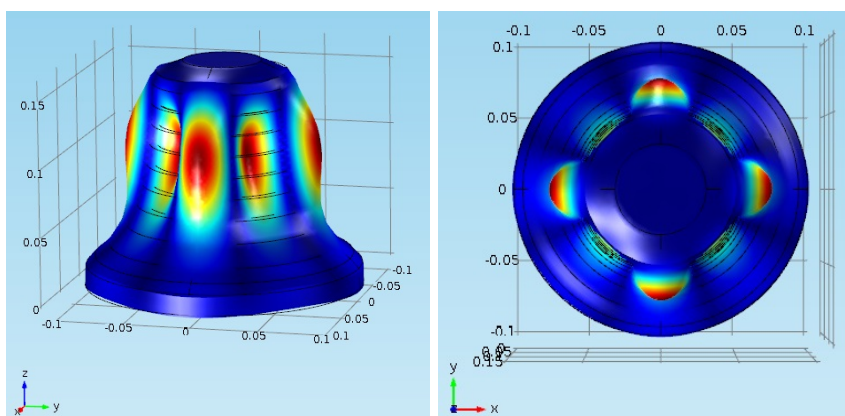


Рис. 3 – Результати моделювання дзвона Ринда для F₁

Рис. 4 – Результати моделювання дзвона Ринда для F_2 Рис. 5 – Результати моделювання дзвона Ринда для F_4 Рис. 6 – Результати моделювання дзвона Ринда для F_6 Рис. 7 – Результати моделювання дзвона Ринда для F_8

З отриманих даних чітко видно, що усі частоти власних коливань дзвонів що звучать є осесиметричними. Відносна похибка визначення частот власних

коливань дзвону з експериментальними значеннями складає не більше ніж $\pm 5\%$.

Моди коливань, що не звучать. За результатами комп'ютерного моделювання також було отримано ряд частот та форм власних коливань дзвонів, які

відсутні при звучанні у реальних музичних інструментах. Ці частоти та форми наведено у табл.9 на рис. 8 – 10.

Таблиця 5 –Отримані частоти для дзвона Ринда

Параметр	H ₁ , Гц	H ₂ , Гц	H ₃ , Гц	H ₄ , Гц	H ₅ , Гц	H ₆ , Гц
Частоти, отримані після моделювання	4338	4874	5680	6043	6475	7604

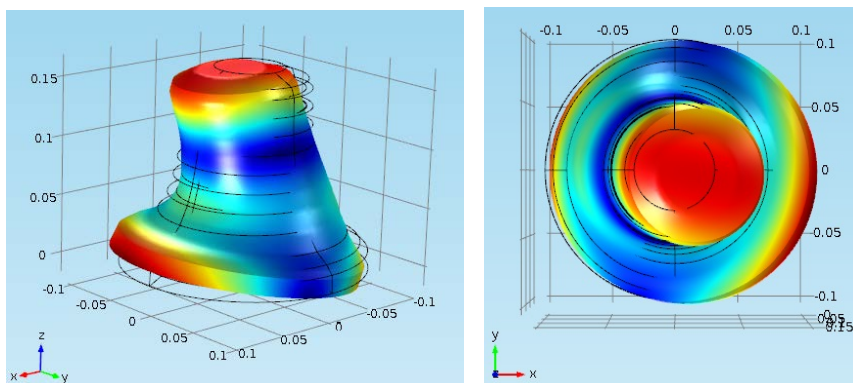


Рис. 8 – Результати моделювання дзвона Ринда для H₁

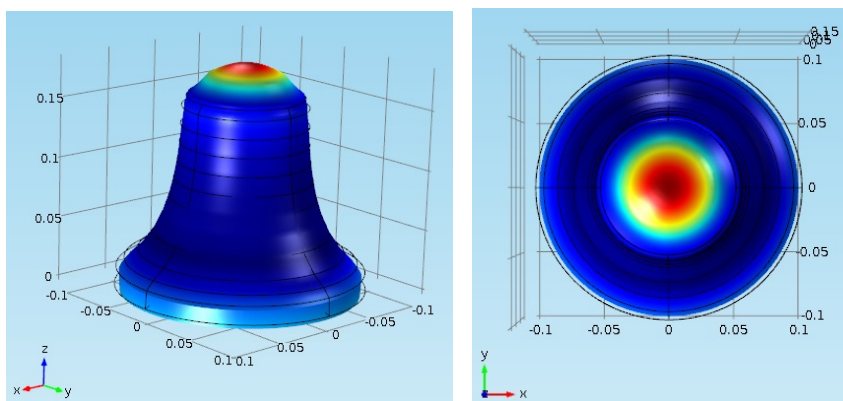


Рис. 9 – Результати моделювання дзвона Ринда для H₂

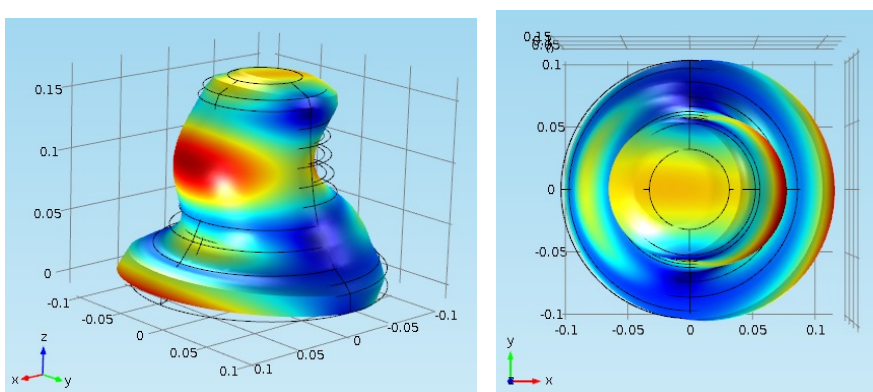


Рис. 10 – Результати моделювання дзвона Ринда для H₆

Обговорення результатів комп'ютерного моделювання коливань звону. З отриманих даних чітко видно, що власні коливання, які не впливають на утворення звуку у дзвонах, є вертикальними або асиметричними. Слід зазначити, що цих частот не було отримано при експериментальному дослідженні дзвонів.

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено:

1. В даній статті розглянуто експериментальне та комп'ютерне дослідження звуку дзвонів. Показано що на відміну від переважної більшості музичних інструментів звук дзвону не є гармонічним.
2. Показано що власні частоти коливань дзвонів залежать від матеріалу та геометричних розмірів

дзвону та практично не залежать від способу збудження.

3. Оскільки на даний час не існує математичного апарату для описання форм власних коливань дзвонів та визначення їх частот була створена комп'ютерна модель яка дозволила вирішити поставлені задачі. Відносна похибка визначення частот власних коливань дзвону склала не більше $\pm 5\%$.

4. Під час комп'ютерного моделювання було показано, що всі моди коливання дзвону які відповідають частотам що присутні в звуку є осесиметричними. Проте теоретично існують також й інші моди коливань дзвонів частоти яких не випромінюються і які не виявлено в ході проведення експерименту.

5. Побудована комп'ютерна модель може бути використана для побудови дзвонів з наперед заданими акустичними характеристиками, а також для аналізу звуку стародавніх дзвонів за відомими їх фізико-механічними та геометричними параметрами.

Список літератури: 1. Пухначёв, Ю. В. Загадки звучащего металла [Текст] / Ю. В. Пухначёв. – М.: Наука, 1974. – 128 с. 2. Rombouts, L. Singing Bronze: A History of Carillon Music [Text] / L. Rombouts // Presses Universitaires de Louvain. – 2014. – 366 p. 3. Тосин, С. Г. Колокола и звоны в России. 2-е изд., переработ. и доп. [Текст] / С. Г. Тосин // Новосибирск: Сибирский хронограф, 2002. 4. "Колокола. История и современность" (сборник статей) [Текст] / Сост. Ю. В. Пухначев, отв. редактор Б. В. Раушенбах. – М.: "Наука", 1985. – 304 с. 5. Нюнин, Б. Н. Создание колоколотейного производства на базе АМО ЗиЛ [Текст] / Б. Н. Нюнин // «Академия Тринитаризма». – М., Эл № 77-6567, публ.10611. 6. Нюнин, Б. Н. Расчено-экспериментальное исследование виброакустических характери-

стик старых русских и современных колоколов [Текст] / Б. Н. Нюнин, А. С. Ларюков, И. С. Юдин // Сб. Музыка колоколов. – С.-Б.: РИИИ, 1999. 7. Trifonov, T. The bells chime – an acoustical, mathematical and technological challenge [Text] / T. Trifonov, T. Georgiava // Proceedings of the National Scientific Conference on Acoustics. – Varna, 2008. 8. Дидковский, В. С. Исследование акустических характеристик колокола «Мазепа» Софийского собора (Киев) [Текст] / В. С. Дидковский, С. А. Лулева, В. П. Заец // Электроника и связь. – 2011. – № 2(61). – С. 146–152. 9. ГОСТ 8117-74 Колокола судовые. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 7 с. 10. Авдеев, А. В. Звучание оркестровых колоколов [Текст] / А. В. Авдеев, В. П. Заец // Системы обработки информации. – 2014. – Вып. 7. – С. 10–13. 11. Авдеев, А. В. Объективные характеристики звучания колоколов. [Текст] / А. В. Авдеев // Мир науки и инноваций. – 2015. – Т. 5., Вып. №1 (1). – С. 59–62.

Bibliography (transliterated): 1. Puhnachyov, Yu. V. (1974). Zagadki zvuchashego metalla. Moscow: Nauka, 128. 2. Rombouts, L. (2014). Singing Bronze: A History of Carillon Music. Presses Universitaires de Louvain, 366. 3. Tosin, S. G. (2002). Kolokola i zvonyi v Rossii. 2-e izd., pererabot. i dop. Novosibirsk: Sibirskiy khronograf. 4. Sost, Yu. V. Puhnachev, B. V. (1985). Kolokola. Istoriya i sovremennost. Moscow, Nauka, 304. 5. Nyunin, B. N. (2003). Sozdanie kolokololiteynogo proizvodstva na baze AMO ZiL. Akademiya Trinitarizma, Moscow, El # 77-6567, publ.10611. 6. Nyunin, B. N., Laryukov, A. S., Yudin, I. S. (1999). Rascheno-eksperimentalnoe issledovanie vibroakusticheskikh karakteristik staryih russkikh i sovremennyih kolokolov. Muzyika kolokolov. 7. Trifonov, T., Georgiava, T. (2008). The bells chime – an acoustical, mathematical and technological challenge. Proceedings of the National Scientific Conference on Acoustics. Varna. 8. Didkovskiy, V. S., Luneva, S. A., Zaets, V. P. (2011). Issledovanie akusticheskikh karakteristik kolokola «Mazepa» Sofiyskogo sobora (Kiev). Elektronika i svyaz, № 2(61), 146–152. 9. GOST 8117-74 (2002). Kolokola sudovyye. Tehnicheskie usloviya. Moscow, Izd-vo standartov, 7. 10. Avdeev, A. V., Zaets, V. P. (2014). Zvuchanie orkestrovyyih kolokolov. Sistemy obrabtki Informatsiyi, 7, 10–13. 11. Avdieiev, A. V. (2015). Objective characteristics sound bells. Mir nauki i innovatsiy, T. 5. Issue №1 (1), 59–62.

Надійшла (received) 04.11.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Авдеев Александр Владимирович – магістр, Кафедра акустики та акустоелектроніки, Национальный технический университет Украины «КПИ», пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056, тел.: (093) 091-12-34

Авдеев Александр Володимирович – магістр, Кафедра акустики та акустоелектроніки, Национальный технический университет Украины «КПИ» пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056, тел. (093) 091-12-34

Avdeev Oleksandr Volodimirovich – magister, Department Acoustics and acoustoelectronics, National technical university of Ukraine «KPI», av. Peremogi, 37, Kyiv, Ukraine, 03056, tel.: (093) 091-12-34

Заец Виталий Пантелеевич – доцент, Кафедра акустики и акустоэлектроники, Национальный технический университет Украины «КПИ», пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056, E-mail: zaetsv@i.ua. тел.: (066) 149-41-25.

Заець Віталій Пантелєйович – доцент, Кафедра акустики та акустоелектроніки, Национальный технический университет Украины «КПИ», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056, E-mail: zaetsv@i.ua. тел. (066) 149-41-25, ORCID 0000-0002-2232-9187

Zayets Vitaliy Panteleevich – docent, Department Acoustics and acoustoelectronics, National technical university of Ukraine «KPI», av. Peremogi, 37, Kyiv, Ukraine, 03056, E-mail: zaetsv@i.ua, tel.: (066) 149-41-25

Котенко Светлана Геннадьевна – ассистент, Кафедра акустики и акустоэлектроники, Национальный технический университет Украины «КПИ», пр. Победы, 37, г. Киев, Украина, 03056, E-mail: catdontlike@gmail.com, тел.: (063) 832-79-81. ORCID 0000-0001-6804-1413

Котенко Світлана Геннадіївна – ассистент, Кафедра акустики та акустоелектроніки, Национальный технический университет Украины «КПИ», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056, E-mail: catdontlike@gmail.com, тел.: (063) 832-79-81.

Kotenko Svetlana Gennadiyevna – assistant, Department Acoustics and acoustoelectronics, National technical university of Ukraine «KPI», av. Peremogi, 37, Kyiv, Ukraine, 03056, E-mail: catdontlike@gmail.com

УДК 004.942:004.021

О. Л. СТАНОВСЬКИЙ, П. С. ШВЕЦЬ, А. В. ТОРОПЕНКО, В. В. БОНДАРЕНКО, А. О. СТАНОВСЬКИЙ, О. АБУ ШЕНА, О. М. КРАСНОЖОН

ОПТИМІЗАЦІЯ ЗВ'ЯЗНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ В ЗАДАЧАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ

Показано, що оптимізація складних систем в САПР повинна враховувати в якості обмежень об'єктивно існуючий зв'язок в межах деякої області оптимізуючих аргументів між окремими елементами цих систем. Розглянуто проблему «зворотної» оптимізації, коли цільовими функціями є параметри області зв'язності. Теоретично доведені і практично підтверджені можливості зниження часу проектування та якості продукції електротехнічного виробництва за рахунок використання САПР, яка забезпечує ефективну оптимізацію параметрів слабов'язаних підсистем об'єкта проектування з цільовою функцією у вигляді області зв'язності.

Ключові слова: зв'язані елементи складних систем, параметри області зв'язності, зворотна оптимізація, САПР.

Вступ. Для ефективного розв'язання багатьох задач оптимізації складних систем в САПР важливе значення має результат вибору відповідної цільової функції. При такому виборі увагу необхідно звертати не тільки на функціональні параметри спроектованої системи, але й на деякі початкові, дані ззовні обмеження, які настільки важливі для характеристик майбутньої системи, що їх краще було б отримувати саме в результаті оптимізації. Очевидними прикладами таких обмежень можуть служити деякі стандартні розміри машин та механізмів, граничні швидкості обертання та прямолінійного руху окремих деталей та вузлів в механіці, «паспортні» напруження та струми в електрообладнанні та багато інших.

Але існують й менш очевидні параметри систем, які самі є «вторинними» при розв'язанні деяких задач оптимізації та які виникають лише в результаті глибокого аналізу процесів, що протікають в об'єкті проектування під час його життєвого циклу. До таких параметрів можна віднести показники зв'язності елементів складних систем, в самій можливості реально або віртуально впливати на цю зв'язність і знаходити за рахунок такого впливу додаткові можливості створення сучасної продукції із «заоптимальними» властивостями.

Із врахуванням постійно зростаючих вимог до якості продукції, технологій та обладнання сучасного виробництва, можна стверджувати, що пошук та створення методів такої оптимізації є надзвичайно актуальним.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Оптимізація або програмування – це пошук вектора аргументів \mathbf{x} , що доставляють екстремум деякої цільової функції $f(\mathbf{x})$ [1]. Багатокритеріальна оптимізація або програмування – це процес одночасної оптимізації двох або більше конфлікуючих цільових функцій у заданій області визначення [2].

Як відомо, завдання багатокритеріальної оптимізації формулюється наступним чином [3]:

$$\min_{\mathbf{x}} \{f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_k(\mathbf{x})\}, \quad \mathbf{x} \in S, \quad (1)$$

де $f_i: R^n \rightarrow R$ це k ($k \geq 2$) цільових функцій, а усі можливі для цієї задачі вектори рішень $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ відносяться до області визначення S .

Завдання багатокритеріальної оптимізації полягає в пошуку вектора рішення (множини оптимізуючих аргументів), що задовольняє накладеним обме-

женням і оптимізує деяку загальну векторну функцію, елементи якої відповідають окремим цільовим функціям з (1). Останні утворюють математичний опис критерію задовільності і, як правило, взаємно конфлікують. Звідси, оптимізувати – означає знайти таке рішення, при якому значення окремих цільових функцій були б прийнятними для постановника завдання [4].

При автоматизованому проектуванні систем часто виникає проблема, викликана тим, що окремі параметри тієї або іншої системи належать одночасно двом або більше її елементам [5]. Наприклад, проектуючи редуктор, неможливо оптимізувати швидкість обертання зубчастого колеса без врахування «інтересів» іншої шестерні, яка знаходиться з першою на одному валу [6]; не можна проектувати графік відключення однієї частини електронного пристрою, не погоджуючи результат проектування з іншою частиною, якщо у них загальний вимикач [7] і т. п.

Подібні зв'язки між параметрами елементів є жорстким обмеженням і, наприклад, при послідовному проектуванні елементів є спроектованими параметрами тільки для першого з них, – для подальших вони автоматично переводяться в множину початкових даних.

Такий підхід може як спростувати проектування (як мінімум, одним розрахунковим параметром менше), так і істотно ускладнювати його, примушуючи неодноразово повертатися до вже спроектованих елементів або проектувати систему в цілому одночасно.

Для рішення задачі оптимізації в цьому випадку використовується комплексний генетичний алгоритм, доповнений блоком врахування нових обмежень [8].

Останнім часом з'явилися роботи, в яких згадані вище зв'язки між елементами систем, не є жорсткими [9]. Наявність таких зв'язків дозволяє вирішувати завдання оптимізації систем більш ефективно, наприклад, глибше, ніж за Парето [10]. І в цьому випадку використовуються комплексні генетичні алгоритми, доповнені блоками адаптації розрахункових моделей під «гнучкий» зв'язок між цільовими функціями оптимізації [11].

У цих випадках додаткові зв'язки між параметрами елементів спроектованих систем використовуються виключно як жорсткі або гнучкі обмеження на зміни варіюваних в процесі оптимізації параметрів. В даній роботі пропонується завдання, в процесі розв'язання якого оптимізації піддається сам зв'язок між елементами, його ступінь або глибина.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є зменшення термінів підготовки виробництва і підвищення якості продукції промислових підприємств на етапі автоматизованого проектування об'єктів із слабкозв'язаними елементами шляхом розробки та впровадження вдосконаленого методу оптимізації в САПР, який базується на використанні в якості цільової функції оптимізації розміру області зв'язності аргументів останньої.

Для досягнення цієї мети в роботі були розв'язані наступні задачі:

- проаналізовані існуючі проблеми і методи автоматизованого проектування слабкозв'язаних технічних об'єктів в САПР;
- виконана постановка та удосконалений метод розв'язання завдань оптимізації слабкозв'язаних технічних систем в САПР за рахунок використання в якості цільової функції оптимізації розміру області зв'язності аргументів останньої;
- здійснене лабораторне комп'ютерне випробування результатів дослідження та виробниче випробування САПР-К «EVOSOFT», яка побудована на основі запропонованого методу, з позитивним технічним ефектом.

Розв'язання «прямої» задачі оптимізації зв'язаних систем. Розглянемо для простоти викладення двохкритеріальну задачу оптимізації (максимізації) двох цільових функцій $f_1(x)$ і $f_2(x)$ одного одно-вимірного аргументу x [12, 13]. В залежності від зв'язності аргументів x для кожної з функцій отримуємо три задачі та три різних рішення, а також, що суттєво, три різних значення оптимізуючих аргументів та три ступеня (глибини) рішення задачі оптимізації.

1. Якщо аргументи для кожної з цільових функцій незалежні (у тому сенсі, що вони можуть приймати незалежні значення з області свого існування $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$), то маємо дві незалежні задачі оптимізації [14] та два її рішення: x^* , яке забезпечує $f_{1\max}(x^*)$, та x^{**} , яке забезпечує $f_{2\max}(x^{**})$ (рис. 1 а).

2. Якщо аргументи сильнозв'язані, або повністю залежні (можуть приймати тільки єдине для кожної з цільових функцій значення з області свого існування $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$), то маємо одну задачу, наприклад, Парето-оптимізації [15] та її єдине рішення x^* , яке забезпечує $f_{1\text{opt}}(x^*) = f_{2\text{opt}}(x^*)$ (рис. 1 б). Ситуація, коли досягнута ефективність за Парето – це ситуація, коли всі вигоди від зміни аргументів вичерпані [16, 17]. Діапазон значень оптимальних за Парето рішень в області допустимих значень дає корисну інформацію про досліджувану задачу, якщо цільові функції обмежені областю визначення.

Одночасно це дає нижню оцінку можливих оптимумів при сильнозв'язаних аргументах.

Для розв'язання задач багатовимірної оптимізації по кільковимірних сильнозв'язаних аргументах в САПР використовують еволюційні методи, зокрема, комплексний генетичний алгоритм (КГА), схема якого призначена для постійного моніторингу під час еволюції рішення з метою недопущення порушення умов зв'язності. В ній застосовуються розгалужені комплексні символічні моделі генотипу об'єкта проектування, який містить по-різному зв'язані параметри елементів [18].

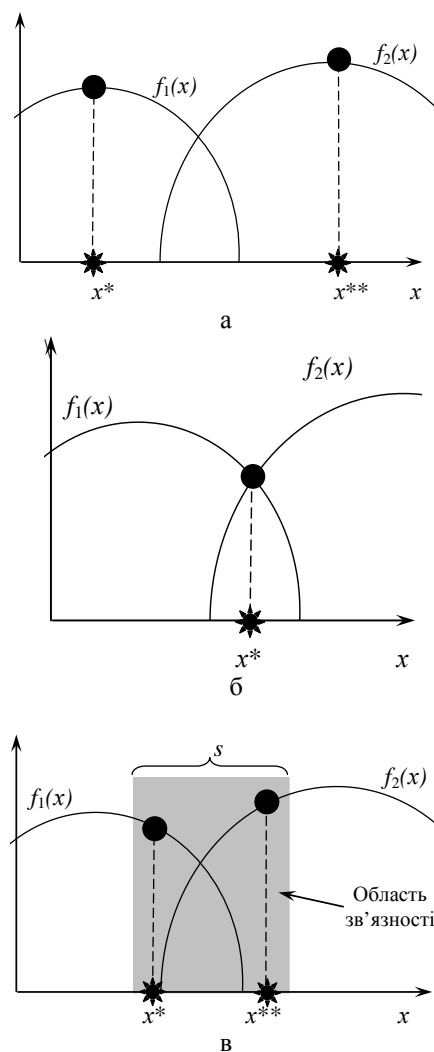


Рис. 1 – Схема двохкритеріальної оптимізації при одно-вимірному аргументі: а – аргумент допускає незалежні рішення; б – аргумент допускає лише єдине рішення; в – аргумент допускає зв'язане рішення

Це дає незалежні оптимуми для обох функцій і, одночасно, верхню (при максимізації) оцінку можливих рішень при оптимізації.

3. Додаткова парадоксальна можливість виконати віртуальну багатокритеріальну розширену Парето-оптимізацію «глибше, ніж за Парето» [19] ілюструє рис. 1 в. Тут наведено випадок, коли аргументи слабкозв'язані, або неповністю залежні (можуть приймати різні для кожної з цільових функцій значення з області свого існування $x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$, але тільки такі, що належать ще й деякій «області зв'язності») $z = x_{\text{звmax}} - x_{\text{звmin}}$ ($x_{\text{звmin}} \leq x \leq x_{\text{звmax}}$), яка цілком лежить в області існування та менша за останню), то маємо одну задачу оптимізації та, в загальному випадку, два її рішення x^* та x^{**} , які забезпечують $f_{1\text{opt}}(x^*) \neq f_{2\text{opt}}(x^*)$ (рис. 1 в). Розширений оптимум Парето розташовується нижче верхньої та вище нижньої оцінок для наведених вище двох крайніх випадків оптимізації.

Для розв'язання задач багатовимірної оптимізації по кільковимірних слабкозв'язаних аргументах в САПР використовують адаптивні еволюційні методи, зокрема, адаптивний комплексний генетичний алгоритм (АКГА) [11].

В ньому комплексні символічні моделі генотипу об'єкта, що містить по-різному зв'язані параметри елементів, а також методи «заселення» множини аргументів первинними особинами, оператори роботи з такими моделями та критерії управління проектними процедурами засновані на адаптивній комплексній еволюційній оптимізації.

Схема двокритеріальної задачі оптимізації цільових функцій $f_1(x)$ і $f_2(x)$ єдиного векторного аргументу $x(x_1, x_2)$, який складається з двох незалежних змінних і, фактично, є двома аргументами x_1 та x_2 , у яких компоненти повністю співпадають ($x_1 = x_2 = x$), наведена на рис. 2.

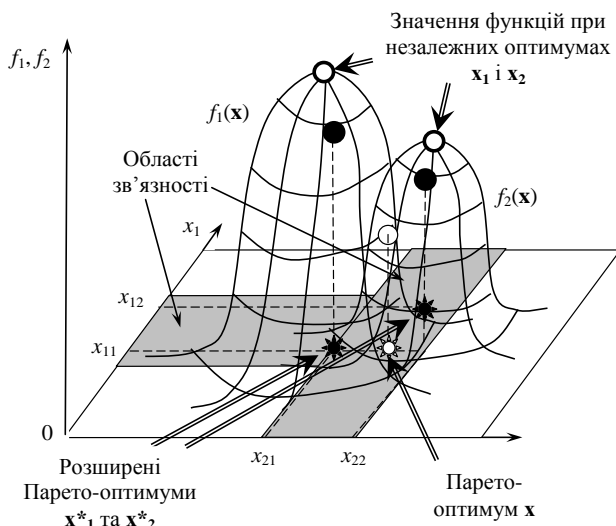


Рис. 2 – Схема двокритеріальної розширеної оптимізації цільових функцій $f_1(x)$ і $f_2(x)$ при двовимірному аргументі $x(x_1, x_2)$

Як видно з рис. 2, «жорсткий» двокритеріальний Парето-оптимум для цільових функцій $f_1(x)$ і $f_2(x)$ для сильнозв'язаних аргументів може бути покращено при слабкозв'язаних, звичайно, в переносному сенсі, оскільки обидва компоненти x_1 та x_2 оптимізуючого аргументу x фактично «роздвоюються» на нерівні один одному x_{11} і x_{12} , а також на x_{21} і x_{22} .

Розв'язання «зворотної» задачі оптимізації зв'язаних систем. Повернемося до виразу (1) та представимо його в якості *прямої* двокритеріальної задачі оптимізації функцій двох аргументів, в яких їхні компоненти співпадають лише частково, у вигляді:

$$\min_{x_1, x_2} \{f_1(x_1, x_2), f_2(x_1, x_2)\}, \quad x_1 \in S_1, x_2 \in S_2 \quad (2)$$

де $f_1(x_1, x_2), f_2(x_1, x_2)$ – цільові функції, x_1, x_2 – вектори, які оптимізують.

Якщо між оптимізуєчими векторами є слабкий зв'язок, можна записати:

$$x_1 = x_2 + b, \quad (3)$$

де b – векторний розмір області зв'язності. Значимо, що розмірність цієї області дорівнює кількості зв'язаних компонентів оптимізуєчих векторів. Якщо в результаті аналізу конкретного об'єкта проектування виявляється, що розмірність області зв'язності до-

рівнює нулю, то оптимізація може виконуватися окремо: $f_1(x_1, x_2)$ по x_1 , а $f_2(x_1, x_2)$ – по x_2 .

Величина області зв'язності b при розв'язанні прямих оптимізаційних задач входить до множини обмежень і задається на підставі аналізу майбутнього об'єкта. При стохастичному характері області зв'язності ймовірність відхилень x_1 та x_2 в її межах залежить від властивостей об'єкта та умов його експлуатації. В процесі оптимального проектування області зв'язності може переміщуватися та змінювати свій розмір b , яка також є випадковою величиною, але параметри слабкозв'язаних елементів будуть завжди залишатися в ній.

В рамках розв'язання *зворотної* оптимізаційної задачі в якості цільових функцій вибираються вже не властивості об'єкта, а саме область зв'язності b :

$$\min_{x_1, x_2} \{b\}, \quad x_1 \in S_1, x_2 \in S_2. \quad (4)$$

Це, як сказано вище, надає додаткові можливості САПР, оскільки параметри цільових функцій $f_1(x_1, x_2)$ та $f_2(x_1, x_2)$ відбивають одні властивості об'єкта проектування, а параметри області зв'язності b , як правило, зовсім інші, такі, що при «звичайній» оптимізації залишаються поза увагою останньої.

Розглянемо конкретний приклад з області проектування електротехнічного обладнання. В цьому випадку завдання *прямої* двокритеріальної оптимізації може виглядати таким чином: спроектувати такий трансформатор, який, залишаючись у рамках теоретичних і технологічних обмежень, при мінімальних втратах матеріалів ($f_1(x_1, x_2)$) забезпечить відсутність перегріву обмоток ($f_2(x_1, x_2)$) у всіх штатних режимах його роботи [10, 18]. У такій постановці кожна згортка цільових функцій має явно виражений екстремум, оскільки збільшення габаритів трансформатора призводить до перевитрати матеріалів, а зменшення – до перегріву.

Для цього прикладу пряме завдання оптимізації (2) виглядає таким чином [19]:

$$\min_{x_1, x_2} \{\theta(x_1, x_2), m_{тр}(x_1, x_2)\}, \quad x_1 \in S_1, x_2 \in S_2, \quad (5)$$

а зворотне за (4) таким:

$$\min_{x_1, x_2} \{b(x_1, x_2)\}, \quad x_1 \in S_1, x_2 \in S_2 \quad (6)$$

де $\theta(x_1)$ – перевищення температури обмоток і сердечника над температурою навколишнього середовища Θ , яке можна розрахувати за відомою формулою:

$$f_1(x_1) = \theta(x_1) = \frac{P_{обм} + P_{серд}}{\alpha_0(S_{обм} + S_{серд})} + \Delta\theta K; \quad (7)$$

$$x_1 = \{P_{обм}, P_{серд}, \alpha_0, S_{обм}, S_{серд}, \Delta\theta\},$$

де $P_{обм}$ – сумарні втрати в обмотці, Вт; $P_{серд}$ – сумарні втрати в сердечнику, Вт; α_0 – середній коефіцієнт тепловіддачі відкритих поверхонь трансформатора, Вт/м²·град; $S_{обм}$ – площа відкритої поверхні мідної обмотки, м²; $S_{серд}$ – площа відкритої поверхні сталевो-

го сердечника, m^2 ; $\Delta\Theta$ – перепад температур від внутрішніх шарів обмоток до зовнішніх, К, а $m_{тр}(x_2)$ – маса трансформатора, яка розраховується за відомою формулою:

$$f_2(x_2) = m_{тр}(x_2) = m_{обм} + m_{серд} + m_{доп}; \quad (8)$$

$$x_2 = \{m_{обм}, m_{серд}, m_{доп}\},$$

де $m_{обм}$ – маса обмотки; $m_{серд}$ – маса сердечника; $m_{доп}$ – маса допоміжних елементів трансформатора (кріплення, клеми, прокладки, пропитка, тощо).

Кожний з аргументів x_1 і x_2 , що входять до (7) та (8), у свою чергу, є функцією множини конструктивних параметрів трансформатора.

Оскільки в цьому прикладі два аргументи x_1 і x_2 представляють собою частково пересічні множини (компоненти $x_2 = \{m_{обм}, m_{серд}\}$ однозначно залежать від деяких компонентів $x_1 = \{S_{обм}, S_{серд}\}$, в наявності дві цільові функції $f_1(x_1, x_2)$ і $f_2(x_1, x_2)$, що конкурують «за ресурси» – конструктивні параметри обмоток та сердечника трансформатора.

Завдяки цьому «заоптимальні» значення (глибше, ніж за Парето) можуть бути отримані не тільки на шляху виконання не зовсім сумісних вимог до розміру та температурного режиму трансформатора, але й шляху конструктивних вимог, які впливають на **b**.

Аналогічні оптимізаційні задачі розв'язували при автоматизованому проектуванні механічних конструкцій, а саме, двохступінчатого циліндричного редуктора [21], в якому в якості параметрів цільової функції **b** виступають різниці між потужностями, що передаються окремими ступеннями редуктора, та їхніми ККД, а в якості оптимізуючих параметрів – розміри деталей редуктора та умови тертя у його підшипниках.

Висновки. В результаті аналізу проблем і методів автоматизованого проектування зв'язаних технічних об'єктів в САПР виконана постановка та удосконалений метод розв'язання завдань оптимізації слабкозв'язаних технічних систем за рахунок використання в якості цільової функції оптимізації розміру області зв'язності аргументів останньої, що надає додаткові можливості проектувальнику, оскільки параметри цільових функцій відбивають одні властивості об'єкта проектування, а параметри області зв'язності, як правило, інші, такі, що при «звичайній» оптимізації залишаються поза увагою останньої.

Теоретично доведені і практично, за допомогою комп'ютерного експерименту і виробничих випробувань, підтверджені можливості підвищення швидкості проектування та якості продукції електротехнічного виробництва за рахунок використання САПР, що забезпечують ефективну оптимізацію параметрів слабкозв'язаних підсистем об'єкта проектування із цільовою функцією у вигляді області зв'язності.

В Одеському МП НТЦ «Техсервіс» (Україна) проведено випробування розробленої в ОНПУ САПР-К «EVOSOFT». В якості об'єкта автоматизованого проектування використовували трансформатор моделі ТМ 25/10/0,4. В результаті випробування встановлено, що використання згаданої вище САПР-К електротехнічного обладнання «EVOSOFT» дозволило змен-

шити масу трансформатора на 15 %, при цьому залишивши незмінним термін його служби, та знизити термін проектування, в середньому на 28,6 %.

Список літератури: 1. Зуховицький, С. И. Линейное и выпуклое программирование [Текст] / С. И. Зуховицький, Л. И. Авдеева. – М.: Наука, 1994. – 288 с. 2. Кини, Р. Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения [Текст] / Р. Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с. 3. Шоробура, Н. Н. Решение задач многокритериальной оптимизации сложных объектов и систем. – ДонНТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.masters.donntu.edu.ua/publ2004/kita/kita_shorobura.pdf>. – 11.07.2010. 4. Многокритериальная оптимизация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <[http://ru.wikipedia.org/wiki/ Многокритериальная_оптимизация](http://ru.wikipedia.org/wiki/Многокритериальная_оптимизация)>. – 26.10.2013. 5. Тонконогий, В. М. Разработка САПР многокритериальной оптимизации [Текст] / В. М. Тонконогий, А. А. Перпери, Д. А. Монова // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – № 41. – С. 212–216. 6. Тонконогий, В. М. Многоцелевая оптимизация методом комплексного генетического алгоритма [Текст] / В. М. Тонконогий, А. А. Перпери, Д. А. Монова // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Вип. 6. – Харків, НТУ «ХПБ», 2011. – С. 276–281. 7. Становский, А. Л. Эволюционная оптимизация электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами [Текст] / А. Л. Становский, П. С. Швеи, А. В. Торопенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. Информационные технологии. – Харьков, 2013. – № 4/3 (64). – С. 36–40. 8. Тонконогий, В. М. Многопараметрическая оптимизация методом комплексного генетического алгоритма [Текст] / В. М. Тонконогий, А. А. Перпери, Д. А. Монова // Материалы международной научно-практической конференции «Информационные технологии и информационная безопасность в науке, технике и образовании – 2011». – Севастополь: СНТУ, 5 – 10 сентября 2011. – С. 56–57. 9. Духанина, М. А. Эволюционная оптимизация слабосвязанных систем [Текст] / М. А. Духанина, Е. Ю. Лебедева, П. С. Швеи, Л. А. Одукалец // Збірник наукових праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова, Київ, 2013. – № 67 – С. 74–81. 10. Становский, А. Л. Оптимизация слабосвязанных систем в автоматизированном проектировании и управлении [Текст] / А. Л. Становский, П. С. Швеи, И. Н. Щедров // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – Вип. 6. – Харків, НТУ «ХПБ», 2011. – С. 129–134. 11. Прокопович, И. В. Адаптивный генетический алгоритм для «мягких» эволюционных вычислений [Текст] / И. В. Прокопович, П. С. Швеи, И. И. Становская, М. А. Духанина // Праці Одеського політехнічного університету, 2012. – Вип. 2(39). – С. 218–224. 12. Постановка задачи многокритериальной оптимизации. Множество Парето [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <[http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc= MO/ch1101.mod/?cou=MO/base.cou](http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=MO/ch1101.mod/?cou=MO/base.cou)>. – 16.04.2011. 13. Безруж, В. М. Принятие оптимальных решений в телекоммуникационных сетях с учетом совокупности показателей качества [Текст] / В. М. Безруж, А. Н. Буханко // Проблемы телекоммуникаций. – 2012. – № 1 (6). – С. 52 – 66. 14. Перпери, А. А. К решению задачи многоцелевой оптимизации [Текст] / А. А. Перпери, В. М. Тонконогий, Д. А. Монова // Материалы XIX семинара «Моделирование в прикладных научных исследованиях». – Одесса: ОНПУ, 17 – 18 марта 2011. – С. 5–6. 15. Становский, А. Л. САПР электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами [Текст] / А. Л. Становский, П. С. Швеи, А. В. Торопенко // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 8. – Харків, НТУ «ХПБ». – С. 133–143. 16. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход [Текст] / В. Д. Ногин. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 176 с. 17. Петросян, Л. А. Теория игр [Текст] / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. В. Шевкопляс. – СПб: БХВ-Петербург, 2012. – 432 с. 18. Становский, А. Л. Эволюционная оптимизация слабосвязанных технических систем в САПР [Текст] / А. Л. Становский, П. С. Швеи, Д. А. Желудобовский // Праці Одеського політехнічного університету: Науковий та науково-виробничий збірник. – 2011. – Вип. 2(36). – С. 234–238. 19. Становский, А. Л. САПР электротехнического оборудования со слабосвязанными элементами [Текст] / А. Л. Становский, П. С. Швеи, А. В. Торопенко // Сучасні технології в машинобудуванні: збірник наукових праць. – 2013. – Вип. 8. – Харків, НТУ «ХПБ». – С. 133–143. 20. Тонконогий, В. М. Оптимизация параллельной обработки в САПР [Текст] / В. М. Тонконогий, А. А. Перпери, Д. А. Пурич // Материалы международной научно-технической конференции «Автоматизация: проблемы, идеи, решения». – Севастополь, СНТУ, 5 – 9 сентября 2011. – С. 268 – 269. 21. Редукторы Ц2-250, Ц2-300, Ц2-350, Ц2-400, Ц2-400П. [Электрон-

ний ресурс]. – Режим доступа: <http://www.evropivod.ru/catalogue/cylindrical/double-stage/reduktory-c2-400-c2-400p>. – 07.08.2015.

Bibliography (transliterated): 1. Zuhovitskiy, S. I., Avdeeva, L. I. (1994). Lineynoe i vyipukloe programmirovaniye. Moscow: Nauka, 288. 2. Kini, R. L., Rayfa, N. (1981). Prinyatie resheniy pri mnogih kriteriyah: predpochteniya i zamesheniya. Moscow: Radio i svyaz, 560. 3. Shorobura, N. N. Reshenie zadach mnogokriterialnoy optimizatsii slozhnykh ob'ektov i sistem. DonNTU. Avialable: http://www.masters.donntu.edu.ua/publ2004/kita/kita_shorobura.pdf. 11.07.2010. 4. Mnogokriterialnaya optimizatsiya. Avialable: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Mnogokriterialnaya_optimizatsiya>. 26.10.2013. 5. Tonkonogiy, V. M., Perperi, A. A., Berezovskiy, A. A. (2011). Razrabotka SAPR mnogonitochno go rezboshlifovaniya. Visnyk Odeskoyi derzhavnoyi akademiyi budivnistva ta arhitektury, № 41, 212–216. 6. Tonkonogiy, V. M., Perperi, A. A., Monova, D. A. (2011). Mnogotselovaya optimizatsiya metodom kompleksnogo geneticheskogo algoritma. Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni: zbirnyk naukovykh prats, V. 6, Harkov, NTU «HPI», 276–281. 7. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S., Toropenko, A. V. (2013). Evolyutsionnaya optimizatsiya elektrotehnicheskogo oborudovaniya so slabosvyazannymi elementami. Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tehnologiy. Informatsionnyie tehnologii, Harkov, 4/3 (64), 36–40. 8. Tonkonogiy, V. M., Perperi, A. A., Monova, D. A. (2011). Mnogoparametricheskaya optimizatsiya metodom kompleksnogo geneticheskogo algoritma. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Informatsionnyie tehnologii i informatsionnaya bezopasnost v nauke, tehnike i obrazovanii – 2011». Sevastopol: SNTU, 56–57. 9. Duhanina, M. A., Lebedeva, E. Yu., Shvets, P. S., Odukalets, L. A. (2013). Evolyutsionnaya optimizatsiya slabosvyazannykh sistem. Zbirnyk naukovykh prats Institutu problem modelyuvannya v energetitsi Im. G. S. Puhova, Kyiv, № 67, 74–81. 10. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S., Schedrov, I. N. (2011). Optimizatsiya slabosvyazannykh sistem v avtomatizirovannom proektirovanii i upravlenii. Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni: zbirnyk naukovykh prats, V. 6, Harkiv, NTU «HPI»,

129–134. 11. Prokopovich, I. V., Shvets, P. S., Stanovskaya, I. I., Duhanina, M. A. (2012). Adaptivnyiy geneticheskiiy algoritm dlya «myagkih» evolyutsionnykh vyichisleniy. Pratsi Odeskogo politehnichnogo universitetu, V. 2(39), 218–224. 12. Postanovka zadachi mnogokriterialnoy optimizatsii. Mnozhestvo Pareto. Avialable: <http://bigor.bmstu.ru/?cnt/?doc=MO/ch1101.mod/?cou=MO/base.cou>. 16.04.2011. 13. Bezruk, V. M., Buhanko, A. N. (2012). Prinyatie optimalnykh resheniy v telekommunikatsionnykh setyah s ucheto m sovokupnosti pokazateley kachestva. Problemy telekommunikatsiy, № 1(6), 52–66. 14. Perperi, A. A., Tonkonogiy, V. M., Monova, D. A. (2011). K resheniyu zadachi mnogotselovoy optimizatsii. Materialy XIX seminaru «Modelirovaniye v prikladnykh nauchnykh issledovaniyakh». Odessa: ONPU, 5–6. 15. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S., Toropenko, A. V. (2013). SAPR elektrotehnicheskogo oborudovaniya so slabosvyazannymi elementami. Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni: zbirnyk naukovykh prats, Vip. 8, Harkov, NTU «HPI», 133–143. 16. Nogin, V. D. (2005). Prinyatie resheniy v mnogokriterialnoy srede: koliche-stvennyiy podhod. Moskva: FIZMATLIT, 176. 17. Petrosyan, L. A., Zenkevich, N. A., Shevkoplyas, E. V. (2012). Teoriya igr. Saint-Peterburg, 432. 18. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S., Zheldubovskiy, D. A. (2011). Evolyutsionnaya optimizatsiya slabosvyazannykh tehnicheskikh sistem v SAPR. Pratsi Odeskogo politehnichnogo unIversitetu: Naukoviy ta naukovovirobnichiy zbirnik, V. 2(36), 234–238. 19. Stanovskiy, A. L., Shvets, P. S., Toropenko, A. V. (2013). SAPR elektrotehnicheskogo oborudovaniya so slabosvyazannymi elementami. Suchasni tehnologiyi v mashinobuduvanni: zbirnyk naukovykh prats, V. 8, Harkiv, NTU «HPI», 133–143. 20. Tonkonogiy, V. M., Perperi, A. A., Purich, D. A. (2011). Optimizatsiya parallelnoy obrabotki v SAPR. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Avtomatizatsiya: problemy, idei, resheniya», Sevastopol, SNTU, 268–269. 21. Reduktory Ts2-250, Ts2-300, Ts2-350, Ts2-400, Ts2-400P. Avialable: <http://www.evropivod.ru/catalogue/cylindrical/double-stage/reduktory-c2-400-c2-400p>. 07.08.2015.

Надійшла (received) 07.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Становський Олександр Леонідович – доктор технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; тел.: 095-279-15-15; e-mail: stanovsky@mail.ru.

Становский Александр Леонидович – доктор технических наук, Одесский национальный политехнический университет, профессор кафедры нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; тел.: 095-279-15-15; e-mail: stanovsky@mail.ru.

Stanovskiy Alexandr – Doctor of technical Science, Odessa National Polytechnic University, Professor of Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; tel.: 095-279-15-15; e-mail: stanovsky@mail.ru.

Швець Павло Степанович – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; тел.: 068-818-11-16; e-mail: pshvets@mail.ru.

Швец Павел Степанович – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры электроснабжения и энергетического менеджмента; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; тел.: 068-818-11-16; e-mail: pshvets@mail.ru.

Shvets Pavel – candidate of technical Science, Odessa National Polytechnic University, Docent of Department of electric power and energy management; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; tel.: 068-818-11-16.

Торопенко Алла Володимирівна – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; тел.: 066-16-18-211; e-mail: alla.androsyk@gmail.com.

Торопенко Алла Владимировна – кандидат технических наук, Одесский национальный политехнический университет, доцент кафедры нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; тел.: 066-16-18-211; e-mail: alla.androsyk@gmail.com.

Toropenko Alla – candidate of technical Science, Odessa National Polytechnic University, Docent of Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; tel.: 066-16-18-211; e-mail: alla.androsyk@gmail.com.

Бондаренко Віктор Володимирович – магістр, Одеський національний політехнічний університет, ст. викладач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту; пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; тел.: 097-744-89-80; e-mail: snow_dog@ukr.net.

Бондаренко Виктор Владимирович – магистр, Одесский национальный политехнический университет, ст. преподаватель кафедры электроснабжения и энергетического менеджмента; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; тел.: 097-744-89-80; e-mail: snow_dog@ukr.net.

Bondarenko Viktor – master, Odessa National Polytechnic University, Senior Lecturer of Department of electric power and energy management; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; tel.: 097-744-89-80; e-mail: snow_dog@ukr.net.

Абу Шена Осам Мохаммед Али – магістр, Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; тел.: 093-910-88-11; e-mail: klombalibya@hotmail.fr.

Абу Шена Осам Мохаммед Али – магістр, Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; тел.: 093-910-88-11; e-mail: klombalibya@hotmail.fr.

Abu Shena Osama – master, Odessa National Polytechnic University, graduate student of Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; tel.: 093-910-88-11; e-mail: klombalibya@hotmail.fr.

Красножон Олександр Миколайович – магістр, Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри нафтогазового та хімічного машинобудування; просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; тел.: 067-488-18-71; e-mail: krasnozhonan@gmail.com.

Красножон Александр Николаевич – магістр, Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры нефтегазового и химического машиностроения; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; тел.: 067-488-18-71; e-mail: krasnozhonan@gmail.com.

Krasnozhon Oleksandr – master, Odessa National Polytechnic University, graduate student of Department of Oilgas and chemical mechanical engineering; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; tel.: 067-488-18-71; e-mail: krasnozhonan@gmail.com.

Становський Андрій Олександрович – магістр, Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри комп'ютерних інтелектуальних систем та мереж, просп. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044; тел. 093-374-54-87, e-mail redline@normaplus.ua

Становский Андрей Александрович – магістр, Одесский национальный политехнический университет, аспирант кафедры интеллектуальных систем и сетей; пр. Шевченко, 1, г. Одесса, Украина, 65044; тел.: 093-374-54-87; e-mail: redline@normaplus.ua.

Stanovskyi Andriy – master, Odessa National Polytechnic University, graduate student of Department of Computer intellectual systems and networks; Shevchenko 1, Odessa, Ukraine, 65044; tel.: 093-374-54-87; e-mail: redline@normaplus.ua.

УДК 004.94:377

І. В. ХОМЕНКО

ГЕОМЕТРИЧНІ ТА ГРАФІЧНІ КОМП'ЮТЕРНІ МОДЕЛІ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Проаналізовано сучасні проблеми графічної підготовки, зокрема виділено характерні риси сучасної графічної підготовки. Розглянуто геометричні та графічні комп'ютерні моделі, які використовуються у комп'ютерно-інтегрованому проектуванні та дизайні. Оцінені можливості автоматизації побудов тривимірних моделей та геометричних операцій, методи та засоби геометричних побудов. Визначено важливість параметризації геометричних моделей, як такої, що забезпечує варіантність моделей. Результати досліджень можуть бути використані при створенні систем автоматизованого навчання проектуванню та дизайну, зокрема створенню баз геометричних моделей для практичних занять.

Ключові слова: автоматизоване навчання проектуванню, навчальний процес, інженерний дизайн, геометричні та графічні моделі.

Вступ. Сучасне виробництво потребує висококваліфікованих інженерів та конструкторів, внаслідок чого постійно зростають вимоги до випускників ВНЗ. Про необхідність постійного підвищення професійного та загальнокультурного рівня випускників наголошується у Законах України «Про освіту», «Про вищу освіту», Національній доктрині розвитку освіти України та ін. Головними напрямками реорганізації освіти визначені: підвищення якості підготовки фахівця; оновлення змісту освіти, форм організації навчального процесу; інтеграція вітчизняної освіти до європейського та світового освітніх просторів [1].

Сучасна система вищої освіти повинна, зокрема, забезпечити підготовку фахівця інженерного профілю із відповідним рівнем професійної компетентності, розвитком творчих здібностей. Професійна компетентність інженера у значній мірі визначається знанням, вмінням та навичками, які формуються під час ви-

чення дисциплін із використанням комп'ютерних графічних пакетів. Проблеми підготовки майбутніх інженерів в області комп'ютерного моделювання також актуалізуються у зв'язку із розгортанням ефективних інтелектуальних комунікацій у світовій спільноті, адже графічні зображення є універсальним засобом передачі та об'єктивізації знання, не обмеженим мовним бар'єром.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Графічна підготовка є одним із головних чинників, що формує професіоналізм фахівця – інженера, конструктора, технолога. Тому, для вдосконалення професійної підготовки фахівців, необхідно, з одного боку, проаналізувати існуючий стан графічної підготовки у технічних навчальних закладах, виявити причини недоліків, з іншого – визначити та застосувати ефективні шляхи їх усунення [2].

До організаційних форм навчання, які одночасно

© І. В. Хоменко. 2015

є способами безперервного управління пізнавальною діяльністю студентів, відносять: лекції, лабораторні роботи, практикуми, самостійну роботу та інші види занять. Серед перерахованих форм роботи у ВНЗ найважливіша роль відводиться лекції, яка вважається найскладнішим видом роботи і тому доручається більш кваліфікованим і досвідченим викладачам, як правило професорам і доцентам. В рамках модульно-рейтингових технологій практичні заняття відіграють подвійну роль. З одного боку вони сприяють поглибленню та формуванню необхідних навичок – фактичного застосування отриманих теоретичних знань. З іншого – реалізують поточний контроль цих навичок та якості засвоєння студентами лекційного та практичного матеріалу, визначеного планом навчального процесу як до аудиторного, так і до самостійного вивчення. Не дивлячись на важливість практичних занять, вони доручаються менш кваліфікованим викладачам, в результаті чого, в першу чергу, страждає контролююча складова, а подекуди, й неправильно формуються навички студентів.

Сучасну графічну підготовку у вищих навчальних закладах України можна охарактеризувати наступними рисами [3]:

- низький рівень підготовки випускників інженерних спеціальностей із технічного креслення та інженерної графіки;
- недостатній рівень володіння інструментами автоматизації проектування – пакетами CAD/CAM/CAE;
- відсутність практичних навичок із створення інженерної документації;
- зменшення аудиторного навантаження під час вивчення фундаментальних інженерних дисциплін;
- домінування теоретичного матеріалу у навчальних курсах вищої школи, що неприпустимо для інженерно-конструкторських спеціальностей;
- відсутня сконцентрованість на об'єктах вивчення під час виконання практичних завдань;
- недостатній контроль процесу виконання графічних завдань.

Ціль та задачі дослідження. Ситуацію, яка склалася можна покращити завдяки впровадженню до навчального процесу нових систем автоматизованого навчання. Традиційні системи автоматизованого навчання у більшості випадків реалізують звичайну схему «Представлення навчального матеріалу – Контрольне питання – Співставлення із зразком». Такий стан негативно впливає на використання комп'ютерних систем під час навчального процесу. Рівень цих систем неможливо порівняти із рівнем проблемного експерта: предметні знання представлені пасивно та дуже спрощено [4]. Слід зазначити, що в інтелектуальних системах навчання участь людини виключається на етапі власне навчання, однак створення баз знань залишається функцією експерта або викладача.

Графічні та геометричні комп'ютерні моделі. Графічні зображення та кресленики є невід'ємною частиною будь-яких інженерних проєктів, тому комп'ютерна графіка та геометричне моделювання справедливо вважаються одними із універсальних методів технічної творчості.

Геометричне моделювання як наука вивчає методи побудови математичних моделей, які описують геометричні властивості предметів навколишнього світу. Воно базується на аналітичній та диференціальній геометрії, обчислювальній математиці, варіаційному обчисленні, топології та розробляє свої власні методи моделювання [5].

Геометричні моделі (ГМ), у яких міститься інформація про структуру, форму та розміри виробів, безперечно є найважливішими для обробної промисловості. Графіка завжди вважалась «мовою» техніки, а розроблення структури та геометричних параметрів виробів була та буде основною задачею конструкторського проєктування. Без попереднього створення ГМ неможливо виконати розрахунки та інженерний аналіз виробу, розробити технологічний процес формотворення, отримати програму для верстату ЧПУ. ГМ необхідні практично на всіх етапах технічної підготовки виробництва і тому вони знайшли найширше застосування в комплексі із іншими видами моделювання у сучасних машинобудівних системах автоматизованого проєктування та технологічної підготовки [6-8].

Комп'ютерне геометричне моделювання нерозривно пов'язане із комп'ютерною (машинною) графікою. Наприклад, існує цілий клас інваріантного програмного забезпечення САПР, яке прийнято називати «Системи (підсистеми) комп'ютерної машинної графіки та геометричного моделювання» – СГМ [9].

До **комп'ютерного геометричного моделювання** прийнято відносити методи та алгоритми внутрішнього представлення та перетворення ГМ (побудови, редагування та параметризації) на ЕОМ. **Комп'ютерна графіка** займається питаннями отримання зображень ГМ за допомогою технічних засобів введення-виведення графічної інформації.

З точки зору комплексного **навчання комп'ютерним технологіям** у машинобудуванні, геометричне моделювання однаково успішно можна використовувати як в курсі комп'ютерної графіки [10, 11], так і в дисциплінах, присвячених автоматизації проєктування [9, 12].

У навчальних закладах для практичної підтримки засвоєння комп'ютерної графіки часто використовують найпростішу «креслярську» комп'ютерну програму або окремі компоненти легких САПР, у яких переважно реалізується двовимірне проєктування. На старших курсах вивчаються середні та важкі промислові системи, засновані на використанні тривимірного геометричного моделювання.

Комп'ютерна графічна модель являє собою образ (зображення) матеріального об'єкту або математичної моделі, сформований за допомогою комп'ютера та призначений для сприйняття людиною. Таким чином, до галузі дії комп'ютерної графіки відносяться візуальні зображення, отримані за допомогою комп'ютера, на екрані монітора або твердому носії. Це, перед усім, векторні та растрові рисунки, схеми, ескізи, кресленики і т. п.

Комп'ютерні геометричні моделі існують у внутрішньому, алгоритмічному представлення, пристосованому для оброблення на ЕОМ. Наявність точних параметрів всіх елементів та алгоритмів їх побудови, які входять до складу ГМ, дозволяють викону-

вати будь-які допустимі перетворення без ушкодження якості моделі, чого неможливо досягти при роботі із образотворчою графікою.

У комп'ютерних системах, призначених для геометричного моделювання, форму виробу із тією чи іншою точністю апроксимують певним кінцевим набором простих геометричних елементів (об'єктів), які називають примітивами: точки, лінії, поверхні, тіла і т. п. Для обмеженого набору примітивів, які мають однозначний математичний опис, розробляються бібліотеки комп'ютерних програм, які складають геометричне ядро автоматизованої системи. Із цих типових примітивів за допомогою різних операцій формується внутрішнє представлення унікальної ГМ будь-якої складності.

Комп'ютерні геометричні моделі, які використовуються у сучасних машинобудівних САПР, прийнято розділяти на дві великі групи: 2D-моделі та 3D-моделі (від англ. Dimension – вимір). Це плоскі (двовимірні) та об'ємні (тривимірні) геометричні моделі.

Плоскі комп'ютерні геометричні моделі (2D-моделі) повною мірою використовуються у підсистемах САПР, призначених для розроблення конструкторської документації. Точна ГМ, яка лежить в основі правильного креслення, може бути використана для вимірювань та розрахунків на самому кресленнику. Вона може бути включена в інші технічні моделі (застосування у методі кінцевих елементів) або застосована у технологічному моделюванні (контур для оброблення на верстаті із ЧПУ).

Об'ємні (тривимірні) геометричні моделі (3D-моделі) на даний час є безперечними лідерами розвитку комп'ютерного моделювання у техніці. На даний час існують причіники того, що при повному впровадженні об'ємного моделювання у машинобудуванні можна буде зовсім відмовитись від традиційних кресленників.

Об'ємне геометричне комп'ютерне моделювання вважається однією із найуніверсальніших комп'ютерних технологій, які використовуються в автоматизованих системах промислового призначення. Геометрична та топологічна інформація про виріб, найбільш повно представлена у тривимірній моделі, застосовується на різних етапах життєвого циклу, входить цілком або частково у інші моделі, необхідні для роботи локальних програм та автоматизованих систем.

Можна виділити дві основні інженерні задачі, пов'язані із комп'ютерним моделюванням тривимірних тіл у машинобудуванні: побудова комп'ютерної моделі уже існуючого виробу або його матеріальної моделі; синтез форми ще не існуючого виробу, який проєктується.

При розв'язанні першої задачі використовуються технології «зворотного інжинірингу». При розв'язанні задач синтезу ГМ застосовується універсальне програмне забезпечення підсистем геометричного моделювання, які входять до складу всіх без виключення машинобудівних САПР.

На даний час у САПР використовуються три типи ГМ:

– каркасна 3D-модель (wire frame model). В даному випадку модель описується набором вершин (точок) та ребер (відрізків);

– поверхнева 3D-модель (surface model). Об'ємне тіло описується набором обмежуючих його поверхонь. Точки та лінії при цьому використовуються для допоміжних побудов та утворюються у вигляді вершин та ребер у результаті перетину поверхонь;

– твердотільна 3D-модель (solid model). Суцільне об'ємне тіло складної форми, яке формується із множини простих об'ємних елементів за допомогою операцій об'єднання, перетину, віднімання та перетворення (в геометричному моделюванні ці операції прийнято називати булевими [13]).

Сучасні автоматизовані системи промислового призначення, як правило, спроможні оперувати усіма видами ГМ і навіть створювати комбіновані моделі, які містять у собі різні типи елементів.

При геометричному моделюванні виробів машинобудування застосовується обмежена кількість базових елементів, які називають об'єктами або примітивами: двовірні об'єкти (точки, прямі, відрізки прямих, кола та їх дуги, різні плоскі криві та контури); поверхні (площини, поверхні, представлені сімейством твірних, поверхні руху, криволінійні поверхні); об'ємні примітиви (паралелепіеди, призми, піраміди, конуси, довільні багатокутники).

Геометричне моделювання об'ємних тіл. Точки, лінії та поверхні є математичними абстракціями, оскільки один із розмірів у них завжди рівний нулю. Реальні об'єкти завжди мають визначений об'єм, обмежений зовнішньою поверхнею тіла. Таке представлення дозволяє визначати об'єм виробу, його масу, моменти інерції, центр ваги і т. п. Ці параметри зазвичай є критеріями оптимальності при оцінці ефективності конструкції виробу та необхідні для інженерних розрахунків та проєктування технології.

Геометричні об'єкти, у яких усі розміри ненульові, прийнято називати твердотільними, а моделювання таких тіл називається твердотільним.

Існує декілька підходів до твердотільного моделювання.

Конструктивна твердотільна геометрія (Constructive Solid Geometry – використання базових елементів форми) оперує найпростішими примітивами, до яких відносять прямокутну та трикутну призми, сферу, циліндр, конус і тор.

Для опису об'ємних примітивів використовують аналітичні поверхні. Якщо замкнути площинами відкриті торці, то аналітичні поверхні легко розділять простір на дві частини – вільну зовнішню та замкнену внутрішню. Залишається лише вказати з якої сторони поверхні знаходиться об'єм тіла. Наприклад, якщо замкнута поверхня вирізає порожнину всередині іншого твердого тіла, то об'єм буде знаходитись ззовні.

Над цими примітивами та отриманими із них тілами можна виконувати математично добре відпрацьовані операції та автоматично отримувати лінії їх перетину в аналітичній формі. Конструктивна твердотільна геометрія дозволяє успішно моделювати більшість промислових деталей. Цей підхід гарантує побудову правильних твердих тіл та вирішує 60-70% по-

треб моделювання, але решта завдань потребує використання поверхонь.

Представлення за допомогою границь (Bounded representation або B-rep). Математично являє собою найбільш загальний підхід до опису об'ємних тіл та полягає у представленні тіла сукупністю обмежувачів його об'єм довірливих поверхонь. Границі об'єкта (вершини, ребра, грані, оболонки) зберігаються у пам'яті комп'ютера у параметризованому вигляді і точно з'єднуються між собою. Однак, щоб в результаті від довірливих поверхонь перейти до об'єму, уже значно складніше розрізнити зовнішню та внутрішню сторони всіх можливих їх поєднань, тобто системи твердотілого моделювання повинні зберігати не лише поверхні, які обмежують тверде тіло, але і всі зв'язки між ними, контролювати замкнутість та відсутність щілин та стику та швах. У B-гер-моделях точність поєднання поверхонь складає серйозну проблему. Такі операції називають зшиванням поверхонь. Безперечною перевагою моделювання тіл за допомогою границь є те, що воно дозволяє моделювати об'єкти довірливої форми та складності. Поверхні можуть бути інтегровані до твердотілих моделей різними способами. Деякі програми мають можливості автоматичного зшивання поверхонь у тверде тіло. Але щоб таке зшивання було здійснене, необхідно, щоб поверхні із певною точністю обмежували замкнутий об'єм. Виконати цю умову часто буває досить складно, але вона є необхідною для продовження процесу моделювання. У ряді випадків це не виходить автоматично і тоді доводиться вручну визначити проблемні ділянки та накладати «латки». Другий підхід – вважати поверхні твердими тілами малої товщини. При твердотілих операціях такі тіла прорізають щілини та цілісність об'єму порушується.

Позиційний підхід до опису об'ємних тіл – робочий простір розбивається на елементарні об'єми (комірки) та деталь задають вказуванням заповнених та пустих комірок, тобто геометрично описується найпростіший об'ємний елемент, наприклад куб, задаються координати базових точок усіх елементів та топологічна інформація про їх поєднання.

Представлення оболонок та просторових тіл у вигляді каркасної сітки успішно використовується у методі кінцевих елементів. Однак у цьому методі, як правило, геометрична модель спочатку експортується із СГМ, і лише потім розділяється на елементи.

Воксельне представлення (від англ. voxel – volume pixel) об'ємного тіла є об'ємним аналогом растрового представлення плоских фігур. Розділення на елементарні об'єми (воксели) здійснюється сіткою площин, розташованих на рівній відстані одна від одної перпендикулярно кожній із координатних осей. Тіло представляється у вигляді булевого тривимірного масиву вокселів.

Воксельне представлення дозволяє описати об'ємне тіло із будь-яким ступенем похибки залежно від кількості використаних комірок. Очевидно, що коли кількість вокселів прямує до нескінченності, модель стає точною, але її розмірність також нескінченно зростає. Але темпи розвитку обчислювальних можливостей комп'ютерної техніки дозволяють вважати цей ал-

горитмічно простий та інтуїтивно зрозумілий метод геометричного моделювання досить перспективним.

Усі перераховані підходи до моделювання тіл використовують не лише опис тіл та поверхонь, але й топологічну інформацію. **Топологія** (topology) визначає структуру та зв'язки елементів моделі. Наприклад, представлення тіл за допомогою границь оперує такими топологічними поняттями, як вершина, ребро, грань та оболонка. Оболонки складаються із набору граней. Оболонка відрізняється від поверхні тим, що окрім поверхні несе інформацію про зв'язки із сусідніми гранями та про орієнтацію відносно до внутрішнього об'єму тіла. З математичної точки зору одна зовнішня та множина із декількох внутрішніх оболонок однозначно описують тверде тіло. Але для редагування об'ємного тіла ще необхідна інформація про послідовність його побудови.

Таким чином, комп'ютерна ГМ твердого тіла, придатна для використання у промислових автоматизованих системах, повинна включати: дані про об'єкти, які входять до складу тіла; топологічну інформацію про способи з'єднання об'єктів; інформацію про послідовність побудови моделі.

Управління геометричними моделями. В універсальних САД-системах тривимірна модель формується та управляється користувачем **за допомогою дерева побудов** (дерево конструювання – feature manager, дерево моделі – Model tree, навігатор моделі – Model Navigator).

Дерево побудов можна вважати графоаналітичною моделлю побудови геометричної моделі – наочне зображення алгоритму отримання моделі. У дереві побудов представлено уся послідовність об'єктів та операцій, за допомогою яких утворюється модельоване тіло. Дерево побудов та графічна область екрану динамічно пов'язані. У режимі діалогу користувач може отримати доступ та модифікувати об'єкти, операції та утворюючі ескіз лінії та контури.

Останнім часом спеціалістами активно обговорюються можливості створення об'ємних геометричних моделей **без збереження історії побудов** за рахунок розширення можливостей варіаційної параметризації [14]. Відмовитись від дерева побудови дозволяє використання так званих конструктивних елементів (future-based design), застосування досягнень штучного інтелекту та об'єктно-орієнтованого програмування.

Висновки. Ідея проектування, заснованого на використанні стандартних конструктивних елементів, не нова [15, 16]. Але її програмна реалізація досить складна та потребує об'єднання досягнень теорії та практики багатьох напрямів розвитку комп'ютерних наук. Таким чином, синхронне геометричне моделювання можна класифікувати як нову ІТ, засновану на комплексному застосуванні методів граничного представлення об'ємних тіл, варіаційної параметризації, штучного інтелекту та об'єктно-орієнтованого програмування, призначеного для підвищення рівня автоматизації 3D-геометричного моделювання у промислових автоматизованих системах.

Список літератури: 1. Проект Національної стратегії розвитку освіти в Україні на 2012-2021 роки – [Електронний ресурс]. – Ре-

жим доступу: www.iitzo.gov.ua/files/proekt_rozvitku_osviti_2012_2021_doc 2. Теорія і методика графічної підготовки студентів інженерних спеціальностей вищих навчальних закладів: автореф. дис. д-ра пед. наук [Текст] / *О. М. Дзеджула*; Терноп. нац. пед. ун-т ім. В. Гнатюка. – Тернопіль, 2007. – 42 с. 3. *Черніков О. В.* Концепція викладання дисципліни «Нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка» в умовах поглиблення фізико-математичної підготовки [Текст] / *О. В. Черніков* // (Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції, м. Севастополь, 7-11 лютого 2011 р.) – Севастополь: СевНТУ, 2011. – С. 7-8. 4. *Журавлева Т. Э.* Гибридный инструментальный интеллектуальных систем на основе расширенного логического программирования. Дисс канд. физ.-мат. наук. [Текст] -Москва: МАИ, 1993. 5. Геометрическое моделирование: учебник для учреждений высш. проф. образования [Текст] / *Н. Н. Голованов*. – М.: Издательский центр «Академия», 2011. – 272 с. 6. *Алямовский А. А.* Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / *А. А. Алямовский и др.* BHV-Петербург, 2008. – 1040 с. 7. *Краснов М. В.* UNIGRAPHICS для профессионалов [Текст] / *М. В. Краснов, Ю. В. Чигищев*. – Москва. Лори, 2004. – 319 с. 8. *Степанов А.* Pro/ENGINEER: специальный справочник [Текст] / *А. Степанов*. – СПб.: Питер, 2001. – 624 с. 9. *Норенков И. П.* Основы автоматизированного проектирования [Текст] / *И. П. Норенков*. – Москва. осква: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 336 с. 10. *Потемкин А.* Инженерная графика [Текст] / *А. Потемкин*. – Москва.: Лори, 2002. – 446 с. 11. *Роджерс Д.* Алгоритмические основы машинной графики / [Текст] / *Д. Роджерс* – Москва: Мир, 1989. – 512 с. 12. *Ли К.* Основы САПР (CAD/CAM/CAE) [Текст] / *К. Ли*. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с. 13. Компьютерная геометрия : учеб. пособие для студ. вузов [Текст] / *Н. Н. Голованов [и др.]*. – Москва. : Издательский центр «Академия», 2006. – 512 с. 14. LEDAS Ltd :: intelligent solutions provider [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.ledas.com> 15. PTC Creo-Design Solutions | PTC [Електронний ресурс] // Режим

доступу: <http://www.ptc.com/product/creo> 16. Программное обеспечение 3D САПР CATIA (Dassault Systemes) [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.3ds.com/ru/products-services/catia/welcome/>

Bibliography (transliterated): 1. Proekt Nacionalnoї strategii rozvitku osviti v Ukraini na 2012-2021 roki – [Elektronnij resurs]. – Rezhim dostupu: [www.iitzo.gov.ua/files/proekt_rozvitku_osviti_2012_2021_..doc](http://www.iitzo.gov.ua/files/proekt_rozvitku_osviti_2012_2021_doc) 2. *Dzhezdzula, O. M.* (2007). Teoriya i metodika grafichnoї pidgotovki studentiv inzhenernix specialnostej vishnix navchalnix zakladiv: avtoref. dis. d-ra ped. nauk; Ternop. nac. ped. un-t im. V. Gnatyuka. Ternopil, 42. 3. *Chernikov, O. V.* (2011). Konceptiya vkladannya disciplini «Narisna geometriya, inzhenerna ta komp'yuterna grafika» v umovax pogliblennya fiziko-matematichnoї pidgotovki. Materiali Vseukraїnskoї naukovo-metodichnoї konferencii, m. Sevastopol, 7–11 lyutogo 2011 r. Sevastopol: SevNTU, 7–8. 4. *Zhuravleva, T. E.* (1993). Gibridnyj instrumentarij intelektualnyx sistem na osnove rasshirenogo logicheskogo programmirovaniya. Diss kand. fiz.-mat. nauk. Moscow: MAI. 5. *Golovanov, N. N.* (2011). Geometricheskoe modelirovanie: uchebnik dlya uchrezhdenij vyssh. prof. Obrazovaniya. Moscow: Izdatelskij centr «Akademija», 272. 6. *Alyamovskij, A. A. i dr.* (2008). Solid Works. Kompyuternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike. BHV-Peterburg, 1040. 7. *Krasnov, M. V., Chigishhev, Yu. V.* (2004). UNIGRAPHICS dlya professionalov. Moscow. Lori, 319. 8. *Stepanov, A.* (2001). Pro/ENGINEER: specialnyj spravochnik. Saint-Peterburg: Piter, 624. 9. *Norenkov, I. P.* (2002). Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya. Moscow: Izd-vo MGTU im. Baumana, 336. 10. *Potemkin, A.* (2002). Inzhenernaya grafika. Moscow: Lori, 446. 11. *Rodzhers, D.* (1989). Algoritmicheskie osnovy mashinnoj grafiki. Moscow: Mir, 512. 12. *Li, K.* (2004). Osnovy SAPR (CAD/CAM/CAE). Saint-Peterburg: Piter, 560

Надійшла (received) 18.10.2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Хоменко Інна Володимирівна – кандидат технічних наук, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, доцент кафедри нарисної геометрії та графіки; Першотравневий пр-т, 24, тел. 066-179-62-58; e-mail: inna_pochta@mail.ru

Хоменко Інна Владимировна – кандидат технических наук, Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, доцент кафедры начертательной геометрии и графики; Первомайский пр-т, 24; тел. 066-179-62-58; e-mail: inna_pochta@mail.ru

Inna Khomenko – PhD in Technical Science, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, Associate Professor descriptive geometry and graphics department; Pershotravneviy, 24; tel. 066-179-62-58; e-mail: inna_pochta@mail.ru

РЕФЕРАТИ

УДК 621.762.4.016:669.15

Структура та властивості спечених матеріалів на основі системи Fe-Cu-C, одержаних із застосуванням різних способів легування/ Внуков О. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.3–6. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянуто основні способи легування порошкових конструкційних сталей. Досліджено комплекс фізичних і механічних властивостей спечених конструкційних матеріалів на основі заліза, одержаних із застосуванням різних технологічних прийомів легування міддю і вуглецем: механічного змішування, механосинтезу й оміднення. Проведено порівняльний аналіз властивостей одержаних матеріалів і визначений оптимальний спосіб легування. Результати досліджень можуть бути використані при створенні спечених сталей і сплавів з підвищеними експлуатаційними властивостями.

Ключові слова: спечені сталі, легування, залізний порошок, мідний порошок, графіт, механосинтез, оміднення.

УДК 661.185-3:677.021.127

Феноменологічне обґрунтування впливу гідратації фосфогіпсової матриці з рідкоземельним наповнювачем на її радіаційно-захисні властивості/ Булат А. Ф., Іванов В. А., Голов К. С., Ткаченко В. А., Степаненков Є. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.6–11. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Обґрунтована адекватність запропонованої феноменологічної моделі, згідно з якою гідратація фосфогіпсової матриці призведе до аномально високого, у порівнянні з класичним законом Бугера, зростання січення взаємодії рентгенівського випромінювання з радіаційно-захисним (РЗ) наповнювачем у вигляді рідкоземельних елементів. Встановлено залежність змін рівня захисту персоналу від рентгенівсько-го випромінювання конструкціями із композиційного матеріалу на основі фосфогіпсу від концентрації РЗЕ в ньому та щільності матеріалу.

Ключові слова: фосфогіпсова матриця, гідратація, кристалізація, рідкоземельні елементи, структура, радіаційний захист, ультрадисперсні частинки.

УДК 669.15:669.162.1

Застосування економнолегованої сталі для деталей, що працюють в умовах абразивного зносу і термоциклічних навантажень/ Панченко Г. М., Суслі Н. В., Іванов А. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.11–14. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Викладено результати дослідження можливості заміни дорогих високолегованих хромонікелевих сталей для деталей, що працюють в складних термоциклічних умовах і дії абразивного зносу економнолегованими безнікелевими сталями. Запропоновано легування цих сталей марганцем і азотом взаєміннікелю для отримання однофазної аустенітної структури. При визначенні необхідної кількості азоту, врахована його розчинність в економнолегованих сталях, яка становить 0,37 %, що дозволяє отримати в пропонованій сталі аустенітну структуру.

Ключові слова: економнолегована сталь, азот, легування, термоциклічні навантаження, абразивний знос, обкотиші, аустенітна структура.

УДК 621.74: 669.14

Особливості наномодифікування багатокомпонентних сплавів/ Калінін О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.14–18. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розроблено технологію модифікування алюмінієвих і нікелевих сплавів нанодисперсному композиціями. Побудовано порівняльні гістограми механічних властивостей деформованих алюмінієвих сплавів до і після модифікування. Обґрунтований вибір типу Наномодифікатори і спосіб його таблетування. Для алюмінієвих сплавів рекомендований нанодисперсному карбід кремнію β -SiC, для нікелевих сплавів - нанодисперсному карбонітрилу титану TiCN фракцією 50 ... 100 нм. У модифікованих сплавах отримано значне подрібнення дендритні і зерен структури. У результаті модифікування досягнуто підвищення механічних властивостей.

Ключові слова: Наномодифікатори, хімічний склад, механічні властивості, неметалеві включення, багатокомпонентні сплави, карбонітрида титану, карбід кремнію.

УДК 621.891

Вплив швидкості охолодження на структуру інструментальних сталей/ Градиський Ю. О., Карпусенко О. В., Янчик О. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.18–21. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянуто різноманітні методи підвищення експлуатаційних характеристик (зносостійкості, витривалості, ударної в'язкості), та їх вплив на структуру інструментальних сталей, з яких виготовлено деталі, що перебувають у рухомому стані. Аналіз показав, що одним з факторів який впливає на структуру є швидкість охолодження безпосередньо нанесеного покриття і основи на яку впливає енергія технологічного обладнання. Основними структурними складовими, що впливають на характеристики зміцнених деталей є аустеніт, мартенсит та карбідні включення. Крім наявних структурних складових великий вплив має їх процентне співвідношення та дисперсність карбідних фаз. В даний час не існує єдиної думки щодо значимості швидкості охолодження в структуроутворенні при нанесенні зміцнюючих покриттів.

Ключові слова: експлуатаційні характеристики, швидкість охолодження, структура, фазовий склад.

УДК 669.715: 621.746

Перерозподіл водню між фазами при кристалізації алюмінію і його сплавів/ Трегубенко Г. Н. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.21–26. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянуто перерозподіл водню між фазами при кристалізації алюмінію і його сплавів. Отримано вирази для розрахунку поточних значень в процесі затвердіння алюмінію і його сплавів концентрацій водню в пограничному дифузійному шарі, на фронті кристалізації, в обсязі, що залишився розплаву, ефективного коефіцієнта розподілу водню, товщини пограничного дифузійного шару, коефіцієнта масопереносу водню, критерію Стентона. Результати досліджень можна застосовувати на практиці з метою оптимізації технологічного процесу отримання якісних виливків з алюмінію і його сплавів.

Ключові слова: алюміній, затвердіння, перерозподіл, водень, фронт кристалізації, коефіцієнт розподілу, прикордонний дифузійний шар.

УДК 546.72.76.46:54-36

Фізико-хімічні характеристики продуктів сумісного осадження магній, ферум та хром гідроксидів і продуктів їх термічного розкладу/ Луцась А. В., Яремій І. П., Матківський М. П., Яремій С. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.26–32. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

З водних розчинів відповідних хлоридів синтезовано ферит-хроміт магній системи $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$. Показано, що шляхом співосадження утворюється гомогенна, реакційно здатна фаза гідроксидів з високим значенням питомою поверхні, величина якої збільшується з підвищенням вмісту хрому в системі. Частки продуктів сумісного осадження мають губчасту форму, а в спечених феритах характеризуються неправильною формою та значною кількістю як дуже великих, так і дуже малих часток. Колір співосаджених гідроксидів монотонно змінюється від сіро-голубого до коричневого, а порошок-феритів від гірчиного до червоно-коричневого по мірі збільшення вмісту феруму.

Ключові слова: ферит, магнію ферит-хроміти, шпінель, магнію заліза хрому гідроксиди, метод осадження, питома поверхня.

УДК 629.7.615.3

Імітаційне моделювання руху транспортного робота/ Ащепкова Н. С., Капера С. С. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.33–36. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглянуто імітаційне моделювання транспортного робота на основі Lego Mindstorms NXT 2.0. Визначено склад системи керування та особливості конструкції шасі моделі транспортного робота. Існуюча елементна база дозволяє здійснювати пошук об'єкту, транспортування та виштовхування його за робочу зону. Додаткова умова вибору стратегії руху – обмеженість робочої зони.

Реалізовані три стратегії руху: Пошук кеглів з поверненням до центру, переміщення по спіралі, «Танок у колі». Оптимальна стратегія обрана за критерієм швидкодії.

Ключові слова: модель, транспортний робот, шасі, робоча зона, стратегія руху, критерій оптимальності, швидкодія.

УДК 656.254.5

Удосконалення диспетчерського керівництва дільниці на основі прогнозного моделювання перевізного процесу/ Долгополов П. В., Головка Т. В., Іванова Ю. А., Галишинець Т. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.36–39. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розроблено заходи з розширення функціонального складу диспетчерських систем управління. Розроблена модель побудови прогнозного графіку руху поїздів з урахуванням оперативних факторів перевізного процесу, таких як: діючі попередження, маса состава та потужність локомотивів, змінні станційні інтервали, наявність та довжина пасажирських платформ. Результати дослідження дозволяють формувати найбільш ефективний прогнозний графік руху поїздів, застосування якого підвищує дільничну швидкість та скорочує витрати на зупинки поїздів на дільниці.

Ключові слова: диспетчерська централізація, диспетчерське керівництво, поїзний диспетчер, станційний інтервал, прогнозний графік руху поїздів.

УДК 658.52.011

Структура і алгоритм роботи автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчера до самостійної роботи/ Григорєв В. О. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.40–43. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті запропоновані принципи побудови автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з обслуговування повітряного руху. Запропонований контур підготовки авіадиспетчерів до самостійної роботи з використанням інформаційних моделей діяльності та етапи автоматизованої діагностики авіадиспетчерів. Розроблена функціональна схема автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчерів до самостійної роботи з управління повітряним рухом. Обґрунтовано концепцію формалізації і автоматизації процесів прийняття рішення про допуск авіадиспетчерів до самостійної роботи з точки зору забезпечення безпеки польотів.

Ключові слова: авіадиспетчер, управління повітряним рухом, тренажер, моделі діяльності.

УДК 656.212.5

Удосконалення роботи сортувальної гірки як ланцюга перевізного процесу/ Калашнікова Т. Ю., Костяк А. Й. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.43–45. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Проаналізовано основні проблеми у роботі сортувальної гірки. Для скорочення тривалості затримок при виконанні операцій гіркового циклу запропоновано: збільшення швидкості заїзду та насуву гіркового локомотива; скорочення часу розпуску за рахунок спорудження спеціальної колії для вагонів, які не підлягають розпуску з гірки звичайним способом; скорочення тривалості осаджування составів на коліях сортувального парку за рахунок збільшення частки підтягувань вагонів з боку хвостової горловини сортувального парку; проведення додаткових занять з операторами гальмових позицій; збільшення кількості робітників.

Ключові слова: залізничний транспорт, сортувальна станція, сортувальна гірка, простій вагонів, логістичний підхід.

УДК 621.391

Розробка і дослідження методів м'якого декодування каскадних кодових конструкцій з ітеративним обміном м'якими рішеннями/ Осадчий С. І., Кузнєцова О. Я., Зубенко В. О., Голік О. П. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.46–52. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті розглядаються каскадні кодові конструкції на основі схем лінійних блокових кодів (турбопродуктивні коди, Turbo Product Codes). Досліджуються методи декодування з м'якою схемою прийняття рішень і процедури обміну м'якими рішеннями в алгоритмах турбо декодування. Пропонується удосконалений метод м'якого декодування каскадних кодових конструкцій з ітеративним обміном м'яких рішень. Результати досліджень можуть бути використані при вивченні навчальних дисциплін з теорії передачі даних, теорії інформації та завадостійкому кодуванню, математичним основам телекомунікаційних систем і технологій.

Ключові слова: каскадні кодові конструкції, турбопродуктивні коди, стійкість передачі, метод м'якого декодування.

УДК 539.3.01

Визначення напруженого стану неоднорідної напівплощини, ослабленою круговою порожниною, при дії шматочно-розподіленого навантаження на прямолінійній межі напівплощини/ Кулісв Е. Б. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.52–55. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

В представленій статті вирішено неоднорідне завдання для напівплощини з круговою порожниною при дії рівномірно-розподіленого навантаження на прямолінійній межі напівплощини. Завдання вирішене методами теорії функцій комплексного змінного (теорія рядів Лорана, метод Н. И. Мусхелішвілі) у поєднанні з проєкційним методом Бубнова-Галеркіну. Зрештою, при конкретних фізичних і геометричних параметрах двозв'язної неоднорідної напівплощини представлена чисельна реалізація отриманих рішень і побудовані епюри окружної напруги для нульового і першого наближень.

Ключові слова: неоднорідна напівплощина, комплексні потенціали, ряди Лорана, метод послідовних наближень, окружні напруги

УДК 65.001.1(075.8)

Концептуальна модель синтезу системи офісів з управління програмами/ Петренко Ю. А. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.55–58. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статті, в межах розвитку методології управління програмами та формалізації процесу синтезу системи офісів з управління програмами (СОУП) проведено теоретико-множинне його описання. Системна концепція синтезу СОУП у вигляді моделей, що наведені у статті є досить загальна, та становить принципи декомпозиції її на часткові задачі, такі як вибір оргструктур і рівня функціональних повноважень офісу, технології реалізації процесів управління проектами, встановлення комунікацій між ними, вибору місця розташування, підбір кваліфікованих виконавців. Для отримання по ним рішень потрібна подальша їх деталізація і конкретизація.

Ключові слова: системна концепція, теоретико-множинний опис, управління програмами, проєктний офіс.

УДК 004.93.673:61

Автоматизована система визначення кінця інфаркту міокарда/ Якубовська С. В., Ніконов В. В., Порван А. П., Довнар А. Й., Чижик О. І. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.58–62. – Бібліогр.: 19назв. – ISSN 2079-5459.

У статті запропонована автоматизована система визначення кінця інфаркту міокарда, яка дозволяє визначити ймовірність летального кінця і попередити раптову коронарну смерть за даними клініко-інструментальних та клініко-лабораторних досліджень на основі методів аналізу дожиття та вербального аналізу. Для автоматизації обліку хворих з діагнозом «Інфаркт міокарда» і організації збереження даних запропонована концептуальна модель бази даних. Пропонована система може бути використана в медичних державних і комунальних установах кардіологічного профілю, а також у навчальних закладах під час підготовки студентів-медиків.

Ключові слова: автоматизована система, інфаркт міокарда, коронарна смерть, база даних, аналіз дожиття

УДК 656.222.3

Удосконалення організації вагонопотоків в сучасних умовах/ Сіконенко Г. М., Мухортова К. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.62–65. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається організація вагонопотоків з урахуванням наявності вагонів інших держав та компаній операторів. Підвищення дальності прямування поїздів істотно впливає на термін доставки вантажу за рахунок ліквідації переробки на попутних технічних станціях, що особливо важливо відносно вагонів що не належать Укрзалізниці, оскільки плата за їх використання значно вища. Пропонується збільшити транзитність вагонопотоку за рахунок формування неповновагових поїздів із поповненням до повної маси на шляху прямування за умови економічної доцільності згідно із наведеною моделлю. Результати досліджень можуть бути використані при розробці мережевого плану формування поїздів.

Ключові слова: вагонопотік, план формування поїздів, рівень транзитності, власний вагон.

УДК 004.942(519.876.5)

Модель синхронізації роботи адаптивних систем регулювання дорожнього руху на перехрестях транспортного вузла довільної топології на базі ресурсної мережі/ Сирота С. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.65–68. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Обґрунтовано використання ресурсної мережі для моделювання завантаженості регульованих перехресть в реальному часі. Запропонований підхід дозволяє досліджувати і порівнювати різноманітні модулі управління рухом на перехресті з метою оптимізації пропускної здатності транспортного вузла довільної топології, моделювати складні автотранспортні мережі великих міст з великою кількістю автомобілів. Розроблено дискретно-подієву модель перехрестя, та запропоновано структуру ресурсної мережі з допомогою, якої моделі перехресть поєднуються в модель дорожньої ділянки.

Ключові слова: ресурсні мережі, пропускна спроможність, адаптивні системи регулювання руху, транспортні потоки.

УДК 004.413.2

Оптимізація проекту мережевої моделі броварного виробництва/ Добротвор І. Г., Струбицький П. Р., Струбицька І. П. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.69–74. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Для управління проектом броварного виробництва використано метод мережевого планування та управління. Визначено склад робіт проекту, встановлено логічну послідовність робіт та подій, визначено тривалість виконання робіт. Проведено планування комплексу маркетингу броварного підприємства, побудовано мережеву модель робіт. Обчислено основні показники мережевої моделі (ранній термін початку, ранній термін закінчення, пізній термін закінчення, пізній термін початку, повний резерв часу, незалежний резерв) та коефіцієнт напруженості. Проведено оптимізацію мережевої моделі за рахунок резервних робіт.

Ключові слова: управління проектами, мережева модель, мережеве планування, броварне виробництво, оптимізація моделі, організація управління, розрахунок мережевої моделі, планування виробництва.

УДК 005.311.2:004.94

Процесна модель управління технічною підготовкою виробництва в середовищі інтегрованих автоматизованих систем/ Трейтяк В. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.74–78. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається процесна модель технологічної підготовки виробництва з погляду реінжинірингу існуючих виробничих процесів на підприємстві, введення ключових показників діяльності в модель, яка розробляється з метою подальшого контролю ефективності системи технологічної підготовки виробництва в рамках моделювання за різними сценаріями. Представлено розроблені організаційні моделі технологічної підготовки виробництва. Результати досліджень можуть бути використані при розробці інформаційних систем та технологій автоматизації основних етапів життєвого циклу наукоємного виробу.

Ключові слова: технологічна підготовка виробництва, організаційна модель, імітаційне моделювання, управління виробничими процесами.

УДК 656.221

Удосконалення пропуску вагонопотоків через міжнародні залізничні стикові пункти/ Малахова О. А., Фат К. Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.78–82. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В роботі проаналізована структура вагонопотоку, що передається між залізницями України та сусідніми державами. Розглядаються основні труднощі у роботі міжнародних залізничних стикових пунктів. Запропоновані шляхи вирішення проблемних питань для прискорення просування вагонопотоків через міжнародні стикові залізничні пункти при взаємодії із сортувальними станціями полігону. Оцінку варіантів розподілу вагонопотоку між різними перехідними станціями запропоновано оцінювати за допомогою коефіцієнта розподілу роботи. Передбачається доповнення АРМ оперативних працівників станції вирішенням задачі раціоналізації роботи стикових пунктів.

Ключові слова: транспорт, система, залізниця, вагонопотік, станція, вантаж, дільниця, стиковий пункт, сполучення.

УДК 004.522

Метод підвищення достовірності розпізнавання мовних команд у складних акустичних умовах/ Штепа О. А., Колларов О. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.82–85. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В даній статті обговорюється застосування методів обробки зашумлених сигналів у системах розпізнавання мовних команд і наводяться деякі з результатів досліджень у цій області. Основною метою дослідження є підвищення достовірності розпізнавання мовних команд в системах голосового управління технічними об'єктами в складній акустичній обстановці шляхом підвищення співвідношення сигнал / шум за рахунок застосування просторового розділення сигналів за допомогою декількох спрямованих мікрофонів і цифрової обробки сиг-

налів на основі адаптивної компенсації перешкод. Використання сучасних методів лінгвістичного розпізнавання мовних команд спільно з методом адаптивної компенсації для обробки перешкоди сигналу дозволяє підвищити достовірність розпізнавання мовних команд.

Ключові слова: голосове керування, розпізнавання мовних команд, адаптивна компенсація, адитивний шум.

УДК 004.5:004.78 (045)

Підходи до реалізації апаратно-програмного навчального комплексу шрифту Брайля/ Артамонов Є. Б., Кременецький Г. М., Длужевський А. О., Панфьоров О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.85–88. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Розглядається реалізація апаратно-програмного навчального комплексу, який представляє собою тактильний дисплей для виведення шостикрапкового символу в системі Брайля на основі сигналів з комп'ютера та спеціальне програмне забезпечення. Робота з тактильним дисплеєм відбувається завдяки подачі постійного струму через електромеханічні елементи. Окрему увагу приділено компоновці елементів на схемі та можливості використання комплексу у мережі. Результати дослідження можна використовувати для випуску навчальних електронних пристроїв для людей з вадами зору.

Ключові слова: апаратно-програмний комплекс, шрифт Брайля, навчання інваліди зору, програмне забезпечення.

УДК 656.96:330.123.6

Розробка методики обґрунтування ринкової стратегії транспортно - експедиторської компанії/ Гладковська В. В., Раскевич І. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.89–93. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті досліджується проблема забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних транспортно - експедиторських компаній в умовах невизначеності зовнішнього середовища їх функціонування, яка викликає необхідність вдосконалення методів та розвитку стратегічного підходу до управління транспортно - експедиторською діяльністю. Недостатня теоретична проробка методичних аспектів стратегічного аналізу, націлених на специфіку експедиторської діяльності, визначили актуальну потребу в вивченні поставленої проблеми.

Ключові слова: транспортно - експедиторська діяльність, конкурентоспроможність, ринкова стратегія, фактор, кваліфікація, цінова політика.

УДК 656.212.5(23.01):004.942

Імітаційна модель процесу розпуску составів на сортувальних гірках/ Бобровський В. І., Дорош А. С., Демченко Є. Б. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.94–98. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Авторами розроблено програмний комплекс, який дозволяє моделювати процес розпуску составів на автоматизованій сортувальній гірці. Моделювання процесу скочування відцепів составу, що розформовується, у вказаній моделі виконується за рахунок взаємодії двох автономних модулів: модуля розпуску і модуля керування.

Розроблена імітаційна модель дає можливість вирішення широкого кола задач дослідження та оцінки ефективності заходів, спрямованих на підвищення якості інтервального та прицільного регулювання швидкості скочування відцепів, скорочення витрат енергоресурсів при розпуску составів на автоматизованих сортувальних гірках.

Ключові слова: сортувальна станція, сортувальна гірка, розформування составів, імітаційна модель, режим гальмування

УДК 621.9.02

Шпindelний вузол з електромеханічним затискним механізмом/ Недобой В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.99–103. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В роботі представлений мотор-шпindel з електромеханічним затискним механізмом зібраний на основі модульного принципу на базі мотор-шпindelа. Дані його параметри та основні технічні характеристики. Представлена можливість використання мотор-шпindelа у двох варіантах: з використанням без модуля з електромагнітною муфтою та з модулем – для розмикання моменту на затискний механізм. Також показані його основні складові вузли та їх компоновка та елементи управління мотор-шпindelом і приводом затиску. Розглянута структурна схема мотор-шпindelа для обох варіантів. Дані рекомендації по майбутніх експериментальних дослідженнях.

Ключові слова: мотор-шпindel, електромеханічний затискний механізм, привод затиску, модульний принцип, затискний патрон

УДК 658.516.3:664.8.037.5

Технологічні аспекти виробництва оборотних заморожених напівфабрикатів/ Оларченко Д. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 103–107. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У даній статті розроблена технологія виробництва оборотних заморожених напівфабрикатів рідких і твердих фаз дикорослих ягід, культивованих грибів, томатних овочів (томати і перець солодкий), курки (бройлери) і риби (карасі срібні), досліджено їх функціонально-технологічні властивості (ФТС), показники безпеки. Дана технологія передбачає отримання двох фаз з харчової сировини шляхом дворазового циклу заморожування-центрифугування. На підставі проведених досліджень запропоновано шляхи використання розроблених напівфабрикатів при виробництві різних груп харчових продуктів.

Ключові слова: оборотні напівфабрикати, функціонально-технологічні властивості, технологія виробництва, рідкі та тверді фази.

УДК 66-9

Аналіз процесу карбонізації содового розчину у виробництві очищеного бікарбонату натрію, шляхи інтенсифікації процесу та підвищення якості кристалів продукції/ Васильєв М. І., Пітак І. В., Шаповров В. П., Пітак О. Я. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 107–117. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

Оскільки відсутня надійна інформація про вплив гідродинамічних факторів на кількість, швидкість утворення NaHCO_3 , фінальний розподіл часток NaHCO_3 за розмірами і масою, в роботі розглядаються питання впливу даних факторів при варіюванні типів тарілок всередині карбонізаційної колони, їх комбінації та відстані між ними. Зміни внутрішнього конструктивного оформлення проводилися на зразку діючої промислової колони. Отримані результати можуть бути використані при модернізації содових виробництв, з метою підвищення продуктивності карбонізаційної колони та поліпшення якості продукції.

Ключові слова: виробництво соди, розчин, карбонізаційна колона, гідродинамічні фактори, контактний елемент, ступінь пересичення.

УДК 631.331:633.63

Технологічні аспекти покращення агрегатів по висадці цукрового буряку на елітне насіння/ Прасолов Є. Я., Лапенко Г. О., Лапенко Т. Г., Бєловол С. А., Шмиголь В. К., Шкрябун Б. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 117–125. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті висвітлено аналіз літературних джерел і патентної інформації й виробничого досвіду та шляхи вдосконалення конструкції та обґрунтування режимів роботи запропонованого висадкосаджального агрегату з контролем та реєстрацією параметрів для визначення кроку висадки маточників цукрового буряку, регульованим внесенням добрив і гранул збереження води. За результатами досліджень обґрунтовано вдосконалення конструкції висадкосаджальної установки, з урахуванням біологічних особливостей розвитку рослин та забезпеченням

вимог енергоощадності та економічної доцільності впровадження у виробництво.

Ключові слова: висадкосаджальний агрегат, стимулятори росту, акумульована енергосміність виробництва, циклічно-послідовні виміри параметрів.

УДК 621.65:62-9.001.24

Аналіз параметрів ступенів свердловинних насосів для водопостачання/ Каплун І. П., Оприско М. Б. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 126–130. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Проаналізовано основні параметри ступенів свердловинних насосів для фірм-виробників, що найбільш широко представлені на ринку України. Сформовано зведені графіки основних параметрів ступенів для умовних габаритів 8 та 10 дюймів. За зведеними графіками параметрів ступенів встановлено доцільні межі робочих діапазонів та подач для новостворюваного типорозмірного ряду свердловинних насосів на основі малогабаритних осьових ступенів. Запропоновано обмежити допустиме зниження коефіцієнту корисної дії ступені на границях діапазону на рівні 3 %.

Ключові слова: водопостачання, свердловинний насос, параметри ступеня, типорозмірний ряд, ККД, осьовий ступінь

УДК 664.83.047.8

Удосконалення технологічного процесу одержання виробів із дріжджового тіста прискореним способом/ Попова С. Ю., Никифоров Р. П., Слащева А. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 130–133. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У роботі запропоновано принципову апаратурну схему технологічного процесу виробництва сухої картопляної добавки (СКД) отриману із вторинних продуктів переробки картоплі (ВППК). На підставі результатів досліджень функціональних властивостей сухої картопляної добавки та її впливу на фізико-хімічні, структурно-механічні, мікробіологічні властивості дріжджового напівфабрикату та готової продукції, а також встановлених режимів та умов її введення у рецептуру запропоновано апаратурне рішення технологічного процесу отримання виробів з дріжджового тіста прискореним способом.

Наведені схеми підібрані для підприємств як великої потужності, так і для пекарень з неповним виробничим циклом.

Ключові слова: вторинні продукти переробки картоплі, суха картопляна добавка, апаратурна схема, технологічний процес, дріжджове тісто.

УДК 621.3: 622: 519.24

Облік вартості життя людини при розслідуванні складних техногенних аварій гірської промисловості/ Кобилянський Б. Б., Мнухін А. Г. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 134–136. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

У статті виділені і проаналізовані різні підходи до оцінки вартості життя людини, визначено фактори, що впливають на оцінку вартості життя людини при аналізі важких техногенних аварій у вугільних шахтах. На підставі даних Макіївського науково-дослідного інституту про смертельний травматизм, був проведений чисельний аналіз, визначення «вартості життя» на підприємствах вугільної промисловості України.

Ключові слова: вартість життя людини, аналіз важких техногенних аварій, вугільна промисловість

УДК 614.838.001.18

Про ймовірність виникнення вибуху в приміщенні, де використовується побутовий газ та електричні мережі 0,4 / 0,22 кВ / Ковальов О. П., Москвіна І. І // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 137–144. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

На основі регулярних однорідних марківських процесів з дискретним числом станів і безперервним часом, запропонована математична модель, за допомогою якої можливо оцінити вибухобезпеку приміщень, в яких використовується побутовий газ та мережі 0,4 / 0,22 кВ з урахуванням: частоти появи вибухонебезпечної концентрації метаноповітряної суміші; тривалості її існування; об'єму приміщення; виділяється обсягу газу з пошкодженого газопроводу; витрати повітря в результаті природної вентиляції; зміни концентрації метану в плині часу; а також від частоти появи електричного джерела підпалювання і тривалості його існування.

Ключові слова: вибух, метаноповітряна суміш, вибухобезпека, небезпечний електричний джерело, марковские процеси.

УДК 004.89:614.841.4

Визначення оптимального варіанту комплектації аварійно-рятувальної техніки з використанням нечітких висновків/ Кришталь В. М., Сергєєв А. В., Снитюк В. Є. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 144–148. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Виконано аналіз аспектів розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки. Розроблено метод визначення оптимального варіанту комплектування як елемент технології проведення нечіткої багатокритеріальної оптимізації з використанням методу аналізу ієрархій та побудови функцій належності на основі парних порівнянь пріоритетності цільових функцій. Визначено обмеження на процес і розв'язок задачі, що дозволяють на етапі попереднього аналізу відсіяти неперспективні альтернативи, а також розглянуто можливість застосування інших еволюційних технологій. Наведено приклад експериментального розрахунку варіанту комплектації аварійно-рятувальної техніки.

Ключові слова: аварійно-рятувальна техніка, комплектування, нечіткі висновки, аналіз ієрархій, функція належності.

УДК 614.771

Забруднення територій промислових міст цинком та іншими важкими металами/ Бувалець Д. Ю., Капустін О. Є. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 148–152. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

На прикладі м Маріуполь розглянуто забруднення важкими металами міських ґрунтів, річкових вод і донних відкладень в умовах впливу підприємств чорної металургії. Проведені дослідження дозволили встановити ступінь і характер забруднення території м Маріуполь різними важкими металами. Було з'ясовано, що забруднення хромом, міддю і нікелем носить характер осередків, локалізованих поблизу металургійних підприємств. У той час як забруднення цинком і свинцем носить повсюдний характер. Отримані результати можуть бути використані для подальшого моніторингу забруднення міста важкими металами і розробки заходів підвищення екологічної безпеки.

Ключові слова: цинк, свинець, хром, мідь, нікель, важкі метали, ґрунт, забруднення територій, металургійні відходи, екологічна безпека.

УДК 621.923

Оптимізація конструкції роторної головки в модулі "АНАЛІЗ НАПРЯЖЕНИЙ" AUTODESK INVENTOR/ Гейчук В. Н. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 153–160. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Запропоновано методику оптимізації конструкції вузлів за критерієм міцності в САД / САЕ системах з вбудованими модулями розрахунку методом скінченних елементів з урахуванням їх функціональних обмежень, зокрема в Autodesk Inventor. Виконано оптимізацію

конструкції роторної головки для магнітно-абразивної обробки в магнітній системі типу "кільцева ванна". Критерієм оптимізації служив коефіцієнт запасу міцності, одним з основних обмежень - кут нахилу робочого шпинделя в діапазоні 0-60 градусів.

Ключові слова: магнітно-абразивна обробка, кільцева ванна, конструкція, напруження, оптимізація, запас міцності

УДК 629.7.025.7

Аеродинамічні характеристики тонкого профілю з інтерцептором/ Ковтонюк І. Б. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 161–164. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

На основі методу дискретних вихорів отримані аеродинамічні характеристики тонкого профілю з інтерцептором, який розташований на нижній поверхні профілю. Для перевірки достовірності результатів обчислювального експерименту проведено порівняння отриманих даних з розрахунками інших авторів. Проведено методичні дослідження впливу числа вихорів, що моделюють профіль з інтерцептором, на точність аеродинамічних характеристик, які визначаються. Проведено аналіз картини розподілу тисків при обтіканні профілю з інтерцептором і фізичної сутності утворення керуючого ефекту. Встановлено, що даний орган управління є вихровим, так як керуючий ефект створюється пеленою, що сходиться з інтерцептора.

Ключові слова: профіль крила, аеродинамічні характеристики, інтерцептор, коефіцієнт тиску, обчислювальний експеримент, вихор.

УДК 534.131, 681.819

Комп'ютерне моделювання коливань дзвону/ Авдєєв О. В., Засць В. П., Котенко С. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 164–169. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведені експериментальні дослідження звучання корабельного дзвону «ринда» та визначені частоти власних коливань. Побудована комп'ютерна модель дзвону яка повністю відповідає реальному дзвону за геометричними розмірами та фізико-механічних властивостей. Були визначені власні частоти та моди коливань. За експериментальними даними показано, що похибка визначення частот коливань дзвону в комп'ютерній моделі не перевищує 5 % та встановлено відповідність мод коливань частотам в спектрі звуку дзвона.

Ключові слова: власна частота, дзвін, метод кінцевих елементів, моди коливань, спектральний аналіз.

УДК 004.94:004.021

Оптимізація зв'язності елементів в задачах автоматизованого проектування систем/ Становський О. Л., Швець П. С., Торопенко А. В., Бондаренко В. В., Становський А. О., Абу Шена О., Красножон О. М. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 170–175. – Бібліогр.: 21 назв. – ISSN 2079-5459.

Показано, що оптимізація складних систем в САПР повинна враховувати в якості обмежень об'єктивно існуючий зв'язок в межах деякої області оптимізуючих аргументів між окремими елементами цих систем. Розглянуто проблему «зворотної» оптимізації, коли цільовими функціями є параметри області зв'язності. Теоретично доведені і практично підтверджені можливості зниження часу проектування та якості продукції електротехнічного виробництва за рахунок використання САПР, яка забезпечує ефективну оптимізацію параметрів слабозв'язаних підсистем об'єкта проектування з цільовою функцією у вигляді області зв'язності.

Ключові слова: зв'язані елементи складних систем, параметри області зв'язності, зворотна оптимізація, САПР.

УДК 004.94:377

Геометричні та графічні комп'ютерні моделі у навчальному процесі/ Хоменко І. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 175–179. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Проаналізовано сучасні проблеми графічної підготовки, зокрема виділено характерні риси сучасної графічної підготовки. Розглянуто геометричні та графічні комп'ютерні моделі, які використовуються у комп'ютерно-інтегрованому проектуванні та дизайні. Оцінені можливості автоматизації побудов тривимірних моделей та геометричних операцій, методи та засоби геометричних побудов. Визначено важливість параметризації геометричних моделей, як такої, що забезпечує варіантність моделей. Результати досліджень можуть бути використані при створенні систем автоматизованого навчання проектуванню та дизайну, зокрема створенню баз геометричних моделей для практичних занять.

Ключові слова: автоматизоване навчання проектуванню, навчальний процес, інженерний дизайн, геометричні та графічні моделі.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.762.4.016:669.15

Структура и свойства спеченных материалов на основе системы Fe-Cu-C, полученных с применением различных способов легирования/ Внуков А. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 3–6. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрены основные способы легирования порошковых конструкционных сталей. Исследован комплекс физических и механических свойств спеченных конструкционных материалов на основе железа, полученных с применением различных технологических приемов легирования медью и углеродом: механического смешивания, механосинтеза и омеднения. Проведен сравнительный анализ свойств полученных материалов и определен оптимальный способ легирования. Результаты исследований могут быть использованы при создании спеченных сталей и сплавов с повышенными эксплуатационными свойствами.

Ключевые слова: спеченные стали, легирование, железный порошок, медный порошок, графит, механосинтез, омеднение.

УДК 661.185-3:677.021.127

Феноменологическое обоснование влияния гидратации фосфогипсовой матрицы с редкоземельным наполнителем на ее радиационно-защитные свойства/ Булат А. Ф., Иванов В. А., Голов К. С., Ткаченко В. А., Степаненков Е. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 6–11. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Обоснована адекватность предложенной феноменологической модели, в соответствии с которой гидратация фосфогипсовой матрицы приводит к аномально высокому, по сравнению с классическим законом Бугера, росту сечения взаимодействия рентгеновского излучения с радиационно-защитным (РЗ) наполнителем в виде редкоземельных элементов (РЗЭ). Установлена зависимость изменения уровня защиты персонала от рентгеновского излучения конструкциями из композиционного материала на основе фосфогипса от концентрации РЗЭ в нём и плотности материала.

Ключевые слова: фосфогипсовая матрица, гидратация, кристаллизация, наполнитель, редкоземельные элементы, структура, радиационная-защита, ультрадисперсные частицы.

УДК 669.15:669.162.1

Применение экономнолегированных сталей для деталей, работающих в условиях абразивного износа и термоциклических нагрузок/ Панченко А. Н., Суслик Н. В., Иванов А. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 11–14. – Бібліогр.: 18 назв. – ISSN 2079-5459.

Изложены результаты исследования возможности замены дорогостоящих высоколегированных хромоникелевых сталей для деталей, работающих в сложных термоциклических условиях и действии абразивного износа экономнолегированными безникелевыми сталями. Предложено легирование этих сталей марганцем и азотом взамен никеля для получения однофазной аустенитной структуры. При определении необходимого количества азота, учтена его растворимость в экономнолегированной стали, которая составляет 0,37 %, что позволяет получить в предлагаемой стали аустенитную структуру.

Ключевые слова: экономнолегированная сталь, азот, легирование, термоциклические нагрузки, абразивный износ, окатыши, аустенитная структура.

УДК 621.74:669.14

Особенности наномодифицирования многокомпонентных сплавов/ Калинин А. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 14–18. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработана технология модифицирования алюминиевых и никелевых сплавов нанодисперсными композициями. Построены сравнительные гистограммы механических свойств деформированных алюминиевых сплавов до и после модифицирования. Обоснованный выбор типа наномодификатора и способ его таблетирования. Для алюминиевых сплавов рекомендован нанодисперсный карбид кремния β -SiC, для никелевых сплавов - нанодисперсный карбонитрид титана TiCN фракцией 50...100 нм. В модифицированных сплавах получено значительное измельчение дендритной и зеренной структуры. В результате модифицирования достигнуто повышение механических свойств.

Ключевые слова: наномодификаторы, химический состав, механические свойства, неметаллические включения, многокомпонентные сплавы, карбонитрид титана, карбид кремния.

УДК 621.891

Влияние скорости охлаждения на структуру инструментальных сталей/ Градыский Ю. А., Карпусенко А. В., Янчик А. Г. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 18–21. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрены различные методы повышения эксплуатационных характеристик (износостойкости, выносливости, ударной вязкости), и их влияние на структуру инструментальных сталей, из которых изготовлены детали, находящиеся в подвижном состоянии. Анализ показал, что одним из факторов который влияет на структуру, является скорость охлаждения непосредственно нанесенного покрытия и основания, на которое влияет энергия технологического оборудования. Основными структурными составляющими, влияющие на характеристики упрочненных деталей является аустенит, мартенсит и карбидные включения. Кроме имеющихся структурных составляющих большее влияние оказывает их процентное соотношение и дисперсность карбидных фаз. В настоящее время не существует единого мнения о значимости скорости охлаждения в структурообразовании при нанесении упрочняющих покрытий.

Ключевые слова: эксплуатационные характеристики, скорость охлаждения, структура, фазовый состав.

УДК 669.715:621.746

Перераспределение водорода между фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов/ Трегубенко Г. Н. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 21–26. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрено перераспределение водорода между фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов. Получены выражения для расчета текущих значений в процессе затвердевания алюминия и его сплавов концентраций водорода в пограничном диффузионном слое, на фронте кристаллизации, в объеме оставшегося расплава, эффективного коэффициента распределения водорода, толщины пограничного диффузионного слоя, коэффициента массопереноса водорода, критерия Стэнтона. Результаты исследований можно применять на практике с целью оптимизации технологического процесса получения качественных отливок из алюминия и его сплавов.

Ключевые слова: алюминий, затвердевание, перераспределение, водород, фронт кристаллизации, коэффициент распределения, пограничный диффузионный слой.

УДК 546.72.76.46:54-36

Физико-химические характеристики продуктов совместного осаждения магний, ферум, хром гидроксидов и продуктов их термического разложения/ Луцась А. В., Яремий И. П., Матківський Н. П., Яремий С. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 26–32. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

Из водных растворов соответствующих хлоридов синтезированы феррит-хромиты магния системы $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$. Показано, что методом соосаждения получено гомогенную, реакционно активную фазу гидроксидов с высоким значением удельной поверхности, значение которой увеличивается с повышением содержания хрома в системе. Частицы продукта соосаждения имеют губчатую форму, а в спеченных ферритах приобретают неправильную форму и широкий диапазон по размерам. Цвет соосажденных гидроксидов изменяется от серо-голубого до коричневого, а порошков магния феррит-хромитов – от горчичного до красно-коричневого с увеличением содержания железа в образцах.

Ключевые слова: феррит, феррит-хромиты магния, шпинель, метод осаждения, гидроксиды магния железа хрома, удельная поверхность.

УДК 629.7.615.3

Имитационное моделирование движения транспортного робота/ Ащепкова Н. С., Капера С. С. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 33–36. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассмотрено имитационное моделирование транспортного робота на основе Lego Mindstorms NXT 2.0. Определены состав системы управления и особенности конструкции шасси модели транспортного робота. Существующая элементная база позволяет осуществлять поиск объекта, транспортировку и выталкивание его за рабочую зону. Дополнительное условие выбора стратегии движения - ограниченность рабочей зоны.

Реализованы три стратегии движения: поиск кеглей с возвращением к центру, перемещению по спирали, «Танец в круге». Оптимальная стратегия избрана по критерию быстродействия.

Ключевые слова: модель, транспортный робот, шасси, рабочая зона, стратегия движения, критерий оптимальности, быстродействие.

УДК 656.254.5

Совершенствование диспетчерского руководства участка на основе прогнозного моделирования перевозочного процесса/ Долгополов П. В., Головки Т. В., Иванова Ю. А., Галишинец Т. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 36–39. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработаны меры по расширению функционального состава диспетчерских систем управления. Разработана модель построения прогнозного графика движения поездов с учетом оперативных факторов перевозочного процесса, таких как: действующие предупреждения, масса состава и мощность локомотивов, переменные станционные интервалы, наличие и длина пассажирских платформ. Результаты исследования позволяют формировать наиболее эффективный прогнозный график движения поездов, применение которого повышает участковую скорость и сокращает расходы на остановки поездов на участке.

Ключевые слова: диспетчерская централизация, диспетчерское руководство, поездной диспетчер, станционный интервал, прогнозный график движения поездов.

УДК 658.52.011

Структура и алгоритм работы автоматизированных систем управления допуском авиадиспетчеров к самостоятельной работе/ Григорьев В. А. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 40–43. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье предложены принципы построения автоматизированной системы управления допуском авиадиспетчеров к самостоятельной работе по обслуживанию воздушного движения. Предложенный контур подготовки авиадиспетчеров к самостоятельной работе с использованием информационных моделей деятельности и этапы автоматизированной диагностики авиадиспетчеров. Разработана функциональная схема автоматизированной системы управления допуском авиадиспетчеров к самостоятельной работе по управлению воздушным движением. Обоснована концепция формализации и автоматизации процессов принятия решения о допуске авиадиспетчеров к самостоятельной работе с точки зрения обеспечения безопасности полетов.

Ключевые слова: авиадиспетчер, управления воздушным движением, тренажер, модели деятельности.

УДК 656.212.5

Совершенствование работы сортировочной горки как цепи перевозочного процесса/ Калашникова Т. Ю., Костяк А. И. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 43–45. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2079-5459.

Проанализированы основные проблемы в работе сортировочной горки. Для сокращения продолжительности задержек при выполнении операций горочного цикла предложено: увеличение скорости заезда и надвига горочного локомотива; сокращение времени роспуска за счет сооружения специального пути для вагонов, не подлежащих роспуску с горки обычным способом; сокращение продолжительности осаживания составов на путях сортировочного парка за счет увеличения доли подтягиваний вагонов со стороны хвостовой горловины сортировочного парка; проведение дополнительных занятий с операторами тормозных позиций; увеличение количества работников.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, сортировочная станция, сортировочная горка, простой вагонов, логистический подход.

УДК 621.391

Разработка и исследование методов мягкого декодирования каскадных кодовых конструкций с итеративным обменом мягкими решениями/ Осадчий С. И., Кузнецова Е. Я., Зубенко В. А., Голик Е. П. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 46–52. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье рассматриваются каскадные кодовые конструкции на основе схем приведенных линейных блоковых кодов (турбопродуктивные коды, Turbo Product Codes). Исследуются методы декодирования с мягкой схемой принятия решений и процедуры обмена мягкими решениями в алгоритмах турбо декодирования. Предлагается усовершенствованный метод мягкого декодирования каскадных кодовых конструкций с итеративным обменом мягких решений. Результаты исследований могут быть использованы при изучении учебных дисциплин по теории передачи данных, теории информации и помехоустойчивому кодированию, математическим основам телекоммуникационных систем и технологий.

Ключевые слова: каскадные кодовые конструкции, турбопродуктивные коды, помехоустойчивость передачи, метод мягкого декодирования.

УДК 539.3.01

Определение напряженного состояния неоднородной полуплоскости, ослабленной круговой полостью, при действии кусочно-распределенной нагрузки на прямолинейной границе полуплоскости/ Кулиев Э. Б. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 52–55. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

В представленной статье решена неоднородная задача для полуплоскости с круговой полостью при действии равномерно-распределенной нагрузки на прямолинейной границе полуплоскости. Задача решена методами теории функций комплексного переменного (теория рядов Лорана, метод Н. И. Мусхелешвили) в сочетании с проекционным методом Бубнова-Галеркина. В конечном итоге, при конкретных физических и геометрических параметрах двухсвязной неоднородной полуплоскости представлена численная реализация полу-

ченних решений и построены эпюры окружных напряжений для нулевого и первого приближений.

Ключевые слова: неоднородная полуплоскость, комплексные потенциалы, ряды Лорана, метод последовательных приближений, окружные напряжения

УДК 65.001.1(075.8)

Концептуальная модель синтеза системы офисов по управлению программами/ Петренко Ю. А. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 55–58. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье, в рамках развития методологии управления программами и формализации процесса синтеза системы офисов по управлению программами (СОУП) проведено теоретико-множественное его описание. Системная концепция синтеза СОУП в виде моделей, что приведены в статье достаточно общая, и определяет принципы декомпозиции ее на частные задачи, такие как выбор оргструктур и уровня функциональных полномочий офиса, технологии реализации процессов управления проектами, установления коммуникаций между ними, выбору места расположения, подбор квалифицированных исполнителей. Для получения по им решений нужна дальнейшая их детализация и конкретизация.

Ключевые слова: системная концепция, теоретико-множинное описание, управление программами, проектный офис.

УДК 004.93.673:61

Автоматизированная система определения исхода инфаркта миокарда/ Якубовская С. В., Никонов В. В., Порван А. П., Довнар А. И., Чижик Е. И. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 58–62. – Бібліогр.: 19 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье предложена автоматизированная система определения исхода инфаркта миокарда, которая позволяет определить вероятность летального исхода и предупредить внезапную коронарную смерть по данным клинико-инструментальных и клинико-лабораторных исследований на основе методов анализа выживаемости и вербального анализа. Для автоматизации учета больных с диагнозом «Инфаркт миокарда» и организации хранения данных предложена концептуальная модель базы данных. Предлагаемая система может быть использована в медицинских государственных и коммунальных учреждениях кардиологического профиля, а также в учебных заведениях при подготовке студентов-медиков.

Ключевые слова: автоматизированная система, инфаркт миокарда, коронарная смерть, база данных, анализ выживаемости.

УДК 656.222.3

Совершенствование организации вагонопотоков в современных условиях/ Г. М. Сиконенко, К. А. Мухортова// Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 62–65. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается организация вагонопотоков с учетом наличия вагонов других государств и компаний операторов. Повышение дальности следования поездов существенно влияет на срок доставки груза за счет ликвидации переработки на попутных технических станциях, что особенно важно в отношении вагонов не относятся Укрзалізниця, поскольку плата за их использование значительно выше. Предлагается увеличить транзитность вагонопотоков за счет формирования неполнооставных поездов с пополнением до полной массы на пути следования при условии экономической целесообразности по приведенной модели. Результаты исследований могут быть использованы при разработке сетевого плана формирования поездов.

Ключевые слова: вагонопоток, план формирования поездов, уровень транзитности, собственный вагон.

УДК 004.942(519.876.5)

Модель синхронизации работы адаптивных систем регулирования дорожного движения на перекрестках транспортного узла произвольной топологии на базе ресурсной сети/ Сирота С. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 65–68. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Обсуждено использование ресурсной сети для моделирования загруженности регулируемых перекрестков в реальном времени. Предложенный подход позволяет исследовать и сравнивать разнообразные модули управления движением на перекрестке с целью оптимизации пропускной способности транспортного узла произвольной топологии, моделировать сложные автотранспортные сети крупных городов с большим количеством автомобилей. Разработана дискретно-событийная модель перекрестка, и предложена структура ресурсной сети с помощью, которой модели перекрестков соединяются в модель дорожного узла.

Ключевые слова: ресурсные сети, пропускная способность, адаптивные системы регулирования движения, транспортные потоки.

УДК 004.413.2

Оптимизация проекта сетевой модели пивоваренного производства/ Добротвор И. Г., Струбицкий П. Р., Струбицкая И. П. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 69–74. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Для управления проектом пивоваренного производства использован метод сетевого планирования и управления. Определен состав работ проекта, установлено логическую последовательность работ и событий, определена продолжительность выполнения работ. Проведено планирование комплекса маркетинга пивоваренного предприятия, построено сетевую модель работ. Вычислено основные показатели сетевой модели (ранний срок начала, ранний срок окончания, поздний срок окончания, полный резерв времени, независимый резерв) и коэффициент напряженности. Проведена оптимизация сетевой модели за счет резервных работ.

Ключевые слова: управления проектами, сетевая модель, сетевое планирование, пивоваренное производство, оптимизация модели, организация управления, расчет сетевой модели, планирование производства.

УДК 005.311.2:004.94

Процессная модель управления технологической подготовкой производства в брде интегрированных автоматизированных систем/ Трейтяк В. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 74–78. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается процессная модель технологической подготовки производства исходя из реинжиниринга существующих производственных процессов на предприятии, введение ключевых показателей деятельности в модель, которая разрабатывается с целью дальнейшего контроля эффективности системы технологической подготовки производства в рамках моделирования по разным сценариям. Представлены разработанные организационные модели технологической подготовки производства. Результаты исследований могут быть использованы при разработке информационных систем и технологий автоматизации основных этапов жизненного цикла наукоёмкого изделия.

Ключевые слова: технологическая подготовка производства, организационная модель, имитационное моделирование, управление производственными процессами.

УДК 656.221

Совершенствование пропуска вагонопотоков через международные железнодорожные стыковые пункты/Малахова Е. А., Фат К. Э. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С. 78–82. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В работе проанализирована структура вагонопотока, передаваемого между железными дорогами Украины и соседних государств. Рассматриваются основные трудности в работе международных железнодорожных стыковых пунктов. Предложены пути решения основных проблемных задач для ускорения продвижения вагонопотоков через международные стыковые железнодорожные пункты при взаимодействии с сортировочными станциями полигона. Оценку вариантов распределения вагонопотоков между различными переходными станциями предложено оценивать с помощью коэффициента распределения работы. Предусматривается дополнение АРМ оперативных работников станции решением задачи рационализации работы стыковых пунктов.

Ключевые слова: транспорт, система, железная дорога, вагонопоток, станция, груз, участок, стыковой пункт, сообщение.

УДК 004.522

Метод повышения достоверности распознавания речевых команд в сложных акустических условиях/ Штепа А. А., Колларов А. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 82–85. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В данной статье обсуждается применение методов обработки зашумленных сигналов в системах распознавания речевых команд и приводятся некоторые из результатов исследований в этой области. Основной целью исследования является повышения достоверности распознавания речевых команд в системах голосового управления техническими объектами в сложной акустической обстановке путем повышения соотношения сигнал/шум за счет применения пространственного разделения сигналов с помощью нескольких направленных микрофонов и цифровой обработки сигналов на основе адаптивной компенсации помех. Использование современных методов лингвистического распознавания речевых команд совместно с методом адаптивной компенсации для обработки зашумленного сигнала позволяет повысить достоверность распознавания речевых команд.

Ключевые слова: голосовое управление, распознавание речевых команд, адаптивная компенсация, аддитивный шум.

УДК 004.5:004.78 (045)

Подходы к реализации аппаратно-программного обучающего комплекса шрифту Брайля/ Артамонов Е. Б., Кременецкий Г. М., Длужевский А. А., Панферов А. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 85–88. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Рассматривается реализация аппаратно-программного учебного комплекса, который представляет собой тактильный дисплей для вывода шеститочечного символа в системе Брайля на основе сигналов с компьютера и специальное программное обеспечение. Работа с тактильным дисплеем происходит благодаря подаче постоянного тока через электромеханические элементы. Особое внимание уделено компоновке элементов на схеме и возможности использования комплекса в сети. Результаты исследования можно использовать для выпуска учебных электронных устройств для слабовидящих.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, шрифт Брайля, обучение инвалидов по зрению, программное обеспечение.

УДК 656.96:330.123.6

Разработка методики обоснования рыночной стратегии транспортно - экспедиторской компании/ Гладковская В. В., Расквич И. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 89–93. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье исследуется проблема обеспечения конкурентоспособности отечественных транспортно - экспедиторских компаний в условиях неопределенности внешней среды их функционирования, которая вызывает необходимость совершенствования методов и развития стратегического подхода к управлению транспортно - экспедиторской деятельностью. Недостаточная теоретическая проработка методических аспектов стратегического анализа, направленных на специфику экспедиторской деятельности, определили актуальную потребность в изучении поставленной проблемы.

Ключевые слова: транспортно - экспедиторская деятельность, конкурентоспособность, рыночная стратегия, фактор, квалификация, ценовая политика.

УДК 656.212.5(23.01):004.942

Имитационная модель процесса роспуска составов на сортировочных горках/ Бобровский В. И., Дорош А. С., Демченко Е. Б. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 94–98. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Авторами разработан программный комплекс, который позволяет моделировать процесс роспуска составов на автоматизированной сортировочной горке. Моделирование процесса скатывания отцепов расформируемого состава в указанной модели выполняется за счет взаимодействия двух автономных модулей: модуля роспуска и модуля управления.

Разработанная имитационная модель дает возможность решения широкого круга задач исследования и оценки эффективности мероприятий, направленных на повышение качества интервального и прицельного регулирования скорости скатывания отцепов, сокращение затрат энергоресурсов при роспуске составов на автоматизированных сортировочных горках.

Ключевые слова: сортировочная станция, сортировочная горка, расформирование составов, имитационная модель, режим торможения

УДК 621.9.02

Шпиндельный узел с электромеханическим зажимным механизмом/ Недобой В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.99–103. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В работе представлен мотор-шпиндель с электромеханическим зажимным механизмом собран на основе модульного принципа на базе мотор-шпинделя. Даны его параметры и основные технические характеристики. Представленная возможность использования мотор-шпинделя в двух вариантах: с использованием без модуля с электромагнитной муфтой и с модулем - для размыкания момента на зажимной механизм. Также показаны его основные составляющие узлы и их компоновка и элементы управления мотор-шпинделем и приводом зажима. Рассмотрена структурная схема мотор-шпинделя для обоих вариантов. Данные рекомендации по будущим экспериментальных исследованиях.

Ключевые слова: мотор-шпиндель, электромеханический зажимной механизм, привод зажима, модульный принцип, патрон

УДК 658.516.3:664.8.037.5

Технологические аспекты производства обратимых замороженных полуфабрикатов/ Одарченко Д. Н. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С.103–107. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В данной статье разработана технология производства обратимых замороженных полуфабрикатов жидких и твердых фаз дикорастущих ягод, культивируемых грибов, томатных овощей (томаты и перец сладкий), курицы (бройлеры) и рыбы (караси серебряные), исследованы их функционально-технологические свойства (ФТС), показатели безопасности. Данная технология предусматривает получение двух фаз из пищевого сырья путём двукратного цикла замораживания-центрифугирования. На основании проведённых исследований предложены пути использования разработанных полуфабрикатов при производстве различных групп пищевых продуктов.

Ключевые слова: обратимые полуфабрикаты, функционально-технологические свойства, технология производства, жидкие и твёрдые фазы.

УДК 66-9

Анализ процесса карбонизации содового раствора в производстве очищенного бикарбоната натрия, пути интенсификации процесса и повышения качества кристаллов продукции/ Васильев М. И., Питак И. В., Шаповров В. П., Питак О. Я. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.107–117. – Бібліогр.: 17 назв. – ISSN 2079-5459.

Поскольку отсутствует надежная информация о влиянии гидродинамических факторов на количество, скорость образования NaHCO_3 , финальное распределение частиц NaHCO_3 по размерам и массе, в работе рассматриваются вопросы влияния данных факторов при варьировании типов тарелок внутри карбонизационной колонны, их комбинации и расстояния между ними. Изменения внутреннего конструктивного оформления проводились на образце действующей промышленной колонны. Полученные результаты могут быть использованы при модернизации содовых производств, с целью повышения производительности карбонизационных колонн и улучшения качества продукции.

Ключевые слова: производство соды, раствор, карбонизационная колонна, гидродинамические факторы, контактный элемент, степень пересыщения.

УДК 631.331:633.63

Технологические аспекты улучшения агрегатов по высадке сахарной свеклы на элитные семена/ Прасолов Е. Я., Лапенко Г. А., Лапенко Т. Г., Беловол С. А., Шмиголь В. К., Шкрябун Б. М. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.117–125. – Бібліогр.: 15 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье освещены анализ литературных источников, патентной информация, а также производственного опыта, пути усовершенствования конструкти, обоснование режимов работы предложенного висадкосадильного агрегата с контролем и регистрацией параметров для определения шага высадки маточников сахарной свеклы, регулируемым внесением удобрений и гранул сохранения воды. По результатам исследований обоснованно усовершенствование конструкции висадкосадильной установки, с учетом биологических особенностей развития растений и обеспечением требований энергосбережения и экономической целесообразности внедрения в производство.

Ключевые слова: висадкосадильный агрегат, стимуляторы роста, аккумулированная энергоёмкость производства, циклично-последовательные измерения параметров.

УДК 621.65:62-9.001.24

Анализ параметров ступеней скважинных насосов для водоснабжения/ Каплун И. П., Опрыско М. Б. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.126–130. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведен анализ основных параметров ступеней скважинных насосов для фирм-производителей, наиболее широко представленных на рынке Украины. Сформированы сводные графики основных параметров ступеней для условных габаритов 8 и 10 дюймов. По сводным графикам параметров ступеней установлены целесообразные пределы рабочих диапазонов и подач для вновь создаваемого типоразмерного ряда скважинных насосов на основе малогабаритных осевых ступеней. Предложено ограничить допустимое снижение коэффициента полезного действия ступени на границах диапазона на уровне 3%.

Ключевые слова: водоснабжение, скважинный насос, параметры ступени, типоразмерный ряд, КПД, осевая ступень

УДК 664.83.047.8

Усовершенствование технологического процесса получения изделий из дрожжевого теста ускоренным способом / Попова С. Ю., Никифоров Р. П., Слащева А. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.130–133. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В работе предложена принципиальная аппаратная схема технологического процесса производства сухой картофельной добавки (СКД) полученной из вторичных продуктов переработки картофеля (ВППК). На основании результатов исследований функциональных свойств СКД и ее влияния на физико-химические, структурно-механические, микробиологические свойства дрожжевого полуфабриката и готовой продукции, а также режимов и условий ее введения в рецептуру предложено аппаратное решение технологического процесса получения изделий из дрожжевого теста ускоренным способом.

Приведенные схемы подобраны для предприятий как большой мощности, так и для пекарен с неполным производственным циклом.

Ключевые слова: вторичные продукты переработки картофеля, сухая картофельная добавка, аппаратная схема, технологический процесс, дрожжевое тесто.

УДК 621.3:622:519.24

Учет стоимости жизни человека при расследовании сложных техногенных аварий горной промышленности/ Кобылянский Б. Б., Мнухин А. Г. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.134–136. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

В статье выделены и проанализированы различные подходы к оценке стоимости жизни человека, определены факторы, влияющие на оценку стоимости жизни человека при анализе тяжелых техногенных аварий в угольных шахтах. На основании данных Макеевского научно-исследовательского института о смертельном травматизме, был проведен численный анализ, определения «стоимости жизни» на предприятиях угольной промышленности Украины.

Ключевые слова: стоимость жизни человека, анализ тяжелых техногенных аварий, угольная промышленность

УДК 614.838.001.18

О вероятности возникновения взрывов в помещениях, где используются бытовой газ и электрические сети 0,4/0,22 кВ/ Ковалев А. П., Москвина И. И. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.137–144. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

На основе регулярных однородных марковских процессов с дискретным числом состояний и непрерывным временем, предложена математическая модель, с помощью которой возможно оценить взрывобезопасность помещений, в которых используется бытовой газ и сети 0,4/0,22 кВ с учетом: частоты появления взрывоопасной концентрации метановоздушной смеси; длительности её существования; объема помещения; выделяемого объема газа из поврежденного газопровода; расхода воздуха в результате естественной вентиляции; изменения концентрации метана в течении времени; а также от частоты появления электрического источника поджигания и длительности его существования.

Получена новая аналитическая зависимость: вероятности появления взрывов в помещении в течение времени t от частоты появления взрывоопасной метановоздушной смеси, длительности нахождения её во взрывоопасном состоянии, частоты появления источника поджигания и длительности его существования.

Ключевые слова: взрыв, метановоздушная смесь, взрывобезопасность, опасный электрический источник, марковские процессы.

УДК 004.89:614.841.4

Определение оптимального варианта комплектации аварийно-спасательной техники с использованием нечетких выводов/ Крышталь В. Н., Сергеев А. В., Снитюк В. Е. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ

«ХП», 2015. – № 49(1158). – С.144–148. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Выполнен анализ аспектов решения задачи комплектования аварийно-спасательной техники. Разработан метод определения оптимального варианта комплектования как элемент технологии проведения нечеткой многокритериальной оптимизации с использованием метода анализа иерархий и построения функций принадлежности на основе парных сравнений приоритетности целевых функций. Определены ограничения на процесс и решение задачи, позволяющие на этапе предварительного анализа отсеять неперспективные альтернативы, а также рассмотрены возможности применения других эволюционных технологий. Приведен пример экспериментального расчета варианта комплектации аварийно-спасательной техники.

Ключевые слова: аварийно-спасательная техника, комплектование, нечеткие выводы, анализ иерархий, функция принадлежности.

УДК 614.771

Загрязнение территорий промышленных городов цинком и другими тяжелыми металлами/ Бувалец Д. Ю., Капустин А. Е. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.148–152. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

На примере г. Мариуполь рассмотрено загрязнение тяжелыми металлами городских почв, речных вод и донных отложений в условиях влияния предприятий черной металлургии. Проведенные исследования позволили установить степень и характер загрязнения территории г. Мариуполь различными тяжелыми металлами. Было выяснено, что загрязнение хромом, медью и никелем носит характер очагов, локализованных вблизи металлургических предприятий. В то время как загрязнение цинком и свинцом носит повсеместный характер. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего мониторинга загрязнения города тяжелыми металлами и разработки мер по повышению экологической безопасности.

Ключевые слова: цинк, свинец, хром, медь, никель, тяжелые металлы, почва, загрязнение территорий, металлургические отходы, экологическая безопасность.

УДК 621.923

Оптимизация конструкции роторной головки в модуле "АНАЛИЗ НАПРЯЖЕНИЙ" AUTODESK INVENTOR/ Гейчук В. Н. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.153–160. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459.

Предложена методика оптимизации конструкции узлов по критерию прочности в CAD/CAE системах со встроенными модулями расчета методом конечных элементов с учетом их функциональных ограничений, в частности в Autodesk Inventor. Выполнена оптимизация конструкции роторной головки для магнитно-абразивной обработки в магнитной системе типа "кольцевая ванна". Критерием оптимизации служил коэффициент запаса прочности, одним из основных ограничений – угол наклона рабочего шпинделя в диапазоне 0-60 градусов.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, кольцевая ванна, конструкция, напряжения, оптимизация, запас прочности

УДК 629.7.025.7

Аэродинамические характеристики тонкого профиля с интерцептором/ Ковтонюк И. Б. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.161–164. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

На основе метода дискретных вихрей получены аэродинамические характеристики тонкого профиля с интерцептором, расположенным на нижней поверхности профиля. Для проверки достоверности результатов вычислительного эксперимента проведено сравнение полученных данных с расчетами других авторов. Проведены методические исследования влияния числа вихрей, моделирующих профиль с интерцептором, на точность определяемых аэродинамических характеристик. Проанализирована картина распределения давления при обтекании профиля с интерцептором и выявлена физическая сущность образования управляющего эффекта. Установлено, что данный орган управления является вихревым, так как управляющий эффект создается пеленой, сходящей с интерцептора.

Ключевые слова: профиль крыла, аэродинамические характеристики, интерцептор, коэффициент давления, вычислительный эксперимент, вихрь.

УДК 534.131, 681.819

Компьютерное моделирование колебаний колокола/ Авдеев А. В., Заец В. П., Котенко С. Г. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.164–169. – Бібліогр.: 11 назв. – ISSN 2079-5459.

Проведены экспериментальные исследования звучания корабельного колокола «рында» и определены частоты собственных колебаний. Построена компьютерная модель колокола которая полностью соответствует реальному колоколу по геометрическим размерам физико-механическим свойствам. Были определены собственные частоты и моды колебаний. По экспериментальным данным показано, что погрешность определения частот колебаний колокола в компьютерной модели не превышает 5% и установлено соответствие мод колебаний частотам в спектре звука колокола.

Ключевые слова: колокол, метод конечных элементов, моды колебаний, собственная частота, спектральный анализ.

УДК 004.942:004.021

Оптимизация связности элементов в задачах автоматизированного проектирования систем/ Становский А. Л., Швец П. С., Торопенко А. В., Бондаренко В. В., Становский А. А., Абу Шена О., Красножон А. Н. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.170–175. – Бібліогр.: 21 назв. – ISSN 2079-5459.

Показано, что оптимизация сложных систем в САПР должна учитывать в качестве ограничений объективно существующую связь в пределах некоторой области оптимизируемых аргументов между отдельными элементами этих систем. Рассмотрены проблемы «обратной» оптимизации, когда целевыми функциями являются параметры области связности. Теоретически доказаны и практически подтверждены возможности снижения времени проектирования и качества продукции электротехнического производства за счет использования САПР, которая обеспечивает эффективную оптимизацию параметров слабосвязанных подсистем объекта проектирования с целевой функцией в виде области связности.

Ключевые слова: связанные элементы сложных систем, параметры области связности, обратная оптимизация, САПР.

УДК 004.94:377

Геометрические и графические компьютерные модели учебном процессе/ Хоменко И. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХП», 2015. – № 49(1158). – С.175–179. – Бібліогр.: 16 назв. – ISSN 2079-5459.

Проанализированы современные проблемы графической подготовки, в частности выделены характерные черты современной графической подготовки. Рассмотрены геометрические и графические компьютерные модели, которые используются в компьютерно-интегрированном проектировании и дизайне. Оценены возможности автоматизации построений трехмерных моделей и геометрических операций, методы и средства геометрических построений. Определены важность параметризации геометрических моделей, как таковой, что обеспечивает вариативность моделей. Результаты исследований могут быть использованы при создании систем автоматизированного обучения проектированию и дизайну, в частности созданию баз геометрических моделей для практических занятий.

Ключевые слова: автоматизированное обучение проектированию, учебный процесс, инженерный дизайн, геометрические и графические модели.

ABSTRACTS

UDC 621.762.4.016:669.15

The structure and properties of sintered materials based on the system Fe-Cu-C, obtained using different methods of alloying/ Vnukov A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 3–6. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Currently, there is the need for broader implementation in production of powder alloy steels. In the literature there are publications on the properties of these materials, methods of alloying. However, their fragmentation makes it difficult to use these data to develop new powder alloy steels, and their introduction into production. In this connection it is appropriate to conduct studies on the effect of alloying methods on the properties of powder steels.

The main methods of obtaining powder alloyed steels are the preparation of multicomponent mixtures of powders of iron and alloying elements; the use of iron alloy powders; impregnation liquid alloy metal or diffusion saturation skeletons of sintered iron powders.

Considered the main methods of powder constructional steels alloying. Investigated the complex of physical and mechanical properties of the sintered structural materials based on iron obtained using different technological methods of alloying copper and carbon: the mechanical mixing mechanosynthesis and copper plating. A comparative analysis of the properties of the materials and determine the best way of alloying. The research results can be used to make sintered steels and alloys with high performance properties.

Keywords: sintered steel, iron powder, copper powder, graphite, mechanosynthesis, copper plating.

UDC 661.185-3:677.021.127

Phenomenological justification influence hydration phosphogypsum matrix with rare earth filler on its radiation - protective properties/ Bulat A., Ivanov V., Golov K., Tkachenko V., Stepanenkov E. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 6–11. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The adequacy of the proposed phenomenological model, according to which phosphogypsum matrix hydration leads to the abnormally high in comparison with the classical Bouguer, growth-section of interaction of X-rays of radiation protection (RP) filler in the form of rare earth elements (REE). The dependence of changes in the level of personnel protection against X-ray structures of composite material based on phosphogypsum REE concentration and material density. This is achieved through the implementation of the mechanism of crystallization of hydrated cementations second, ensuring the destruction of agglomerated particles of REE, thereby increasing the number of ultra fine fraction, which in turn leads to an increase in cross-section of interaction of radiation with composite material construction.

The regularities of changes in RP properties of structures made of composite material on the basis of phosphogypsum from the technological parameters of formation material. The technological parameters affecting the mechanism of interaction between hydrated binder with RP filler and providing weakening the intensity of X-ray and gamma radiation in the low and medium energy range of 1,4–1,5 times.

The expediency of creation of RP structures made of composite material on the basis of phosphogypsum. The parameters of the RP structure and the efficiency of its use for protection against X-ray and gamma radiation.

Keywords: phosphogypsum matrix, hydration, crystallization, rare earth elements, structure, radiation protection, ultra particles.

UDC 669.15:669.162.1

The use sparingly alloyed steels for parts operating under abrasive wear and thermal cyclic recurrence load/ Panchenko A., Suslo N., Ivanov A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 11–14. – Bibliogr.: 18. – ISSN 2079-5459.

In the metallurgical production such as roasting of pellets and caking of agglomerate on conveyor type machines refer to thermal cyclic recurrence processes. At the same time the working bodies of conveyor machines are experiencing not only the impact of high cyclically varying temperatures, but and abrasion wear particles of the material being processed. Therefore, for the manufacture of structural assemblies of these machines use expensive steel containing from 2 to 12% nickel and 22-28% chromium. Despite the high content of alloying elements such as chromium and nickel components of longevity of these steels is 6 - 8 months, resulting in a reduction of technical and economic performance of the conveyor machine.

The article presents the results of a study the possibility of replacing expensive high alloying chromium-nickel steels for components operating in thermal cyclic recurrence load and actions abrasion sparingly nickel-free steels. Proposed doping of manganese steel instead of nickel and nitrogen to produce a single-phase austenitic structure. When determining the required amount of nitrogen taken into account its solubility in sparingly alloyed steels which is 0.37%, which allows to obtain in the proposed austenitic steel structure.

Keywords: economical alloyed steel, nitrogen, alloying, thermal cycling of loads, abrasion, pellets, austenitic structure

UDC 621.74: 669.14

Features of nanomodified multicomponent alloys/ Kalinin A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 14–18. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The technology of modifying aluminum and nickel alloys nanodispersnymi compositions. Built comparative histogram of the mechanical properties of deformed aluminum alloys before and after modification. Reasonable choice of type and method of nanomodifier tableting. Nanodispersed modifiers were prepared by plasma chemical synthesis by varying the temperature and time mode and the composition of gas-plasma flow. Determined by the specific surface obtained refractory compounds. Features size and crystallographic parameters were studied by electron microscopy and diffraction analysis. For aluminum alloys recommended nanosized silicon carbide β -SiC, for nickel alloys - titanium nanodisperse carbonitrile TiCN fraction 50 ... 100 nm. Comparison of images of particles β -SiC with their micro diffraction patterns showed that the main habit plane is the base plane (0001), and the cut is carried out by planes of {1010}. The modified alloys obtained by grinding a significant dendrite and the grain structure. The improvement is achieved by modifying the mechanical properties.

Keywords: nanomodifiers, chemical composition, mechanical properties, non-metallic inclusions, multicomponent alloys, titanium carbonitride, silicon carbide.

UDC 621.891

Effect of cooling rate on the structure of the tool steels/ Gradysky Y., Karpusenko A., Yanchik A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 18–21. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2079-5459.

Various methods of improving performance (durability, endurance, toughness, micro-hardness), and their effect on the structure of tool steels, of which manufactured parts in a mobile state. The analysis showed that one of the factors that affect the structure, the cooling rate is directly applied coating and the grounds upon what affects energy production equipment. The main structural components that affect characteristics of the hardened parts is austenite, martensite and carbide inclusions. In addition to the existing structural components is greatly influenced by their percentage and dispersion of carbide phases.

Studies have shown that at low cooling rates, the non-homogeneous structure of the steel, austenite grains are large and are characterized by chemical heterogeneity. Carbide inclusions are formed inside the austenite grains, and its boundaries in the form of large particles which are stress concentrators and reduced mechanical properties. The degree of reduction of the mechanical properties determined by the size of these carbides.

The increase in the cooling rate leads to the transformation of primary forms of crystallization of near-equilibrium austenite grains to the dendritic branched dendrites with a clear anisotropy of the growth of primary and secondary shafts. There has been a sharp increase in their size. At high cooling rates predominant phase in the steel structure is an austenite. The interdendritic spacing is retained on the base eutectic carbides.

Currently, there is no consensus about the importance of the cooling rate in the structure formation during application of hardening coatings. However, researchers agreed that the chemical composition, the proportion and distribution phases very widely depending on the cooling rate during crystallization.

Keywords: performance, the cooling rate, the structure, phase composition.

UDC 669.715: 621.746

The redistribution of hydrogen between the phases during the crystallization of aluminum and its alloys/ Tregubenko G. N. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 21–26. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Questions which are related to the process of redistribution of hydrogen between the phases during crystallization of aluminium and its alloys are examined in the article.

A research result is: development of theoretical bases of process of redistribution of hydrogen between the phases during crystallization of aluminium and its alloys.

As a scientific novelty the simple are first got and comfortable for practical application of expressions for the calculation of current values in the process of thermosetting of aluminium and his alloys of concentrations of hydrogen in a boundary diffusive layer, at the front of crystallization, in the volume of remaining fusion, effective coefficient of distributing of hydrogen, thickness of boundary diffusive layer, coefficient of mass transfer of hydrogen, criterion of Stentona. The developed theoretical bases of process of redistribution of hydrogen between the phases during crystallization of aluminium and its alloys allow to analyse a conduct at thermosetting of any admixture, when its initial maintenance in fusion exceeds the limit of solubility in a hard phase.

Practical value of the got results can be utilized with the purpose of optimization of technological process and more effective use of expensive equipment for the receipt of the high-quality foundings from an aluminium and its alloys.

Keywords: aluminum, hardening, redistribution of hydrogen, the crystallization front, the distribution ratio, the boundary diffusion layer.

UDC 546.72.76.46:54-36

Physical and chemical characteristics of co-precipitated Magnesium, Ferum, Chromium hydroxide and products of their thermal decomposition/ Lutsas A., Yaremiy I., Matkivskiy M., Yaremiy S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 26–32. – Bibliogr.: 19. – ISSN 2079-5459.

Magnesium ferrite-chromites of the system $Mg(Fe_xCr_{2-x})O_4$ were synthesized from aqueous solutions of the corresponding chlorides using the coprecipitation method. It was obtained homogeneous reactive active hydroxides with a high specific surface area, the value of which increases with the chromium content in the system.

The conditions of magnesium, iron and chromium hydroxides co-precipitation are defined. The presence of chemical hydroxide interactions in co-precipitation and formation of polymer type hydroxide-complexes as spinel pre-structure are proven. It is shown that the fore-structure benefits the spinel formation in mild conditions – at the heating in mother solution and sintering at 873-973 K. Thermal decomposition of the co-precipitated magnesium, iron and chromium hydroxide according to the ferrite correlation leads to creation of corresponding ferrites without preliminary extraction of individual crystal oxides.

Coprecipitated particles have a spongy form, but after heat treatment at the temperature of formation of ferrite, particles acquire an irregular shape and have a wide range of sizes.

Keywords: ferrite, magnesium ferrite-chromites, spinel, coprecipitation method, co-precipitated hydroxides, the specific surface area.

УДК 629.7.615.3

Imitating modeling of movement of the transport robot/ Ashhepkova N. S., Kapera S. S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 33–36. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Use of a set Lego Mindstorms NXT 2.0 allows to design models of various robots. This article discusses the the imitating modeling of the transport robot based on Lego Mindstorms NXT.

Are determined structure of a control system and feature of a design the chassis of model of the transport robot.

The existing element base allows to carry out search to object, transportation and pushing out it for a working zone.. Hardware and the software of a control system allow to carry out search of object, transportation and pushing out it for a working zone. The element base provides an opportunity of creation of control systems of a different level of complexity.

The imitating modeling of movements of real designs of robots allows to choose strategy of movement by the specified criterion of an optimality. Three strategy of movement are realized: search of size with returning to the centre, moving on a spiral, "Dance in a circle". The optimum strategy is elected by criterion of speed. Additional condition of a choice of strategy of movement - limitation of a working zone.

Keywords: model, transport robot, chassis, working zone, strategy of movement, criterion of an optimality, speed.

UDK 656.254.5

Improvement of the dispatch control at the railway district on predictive modeling of the transportation process/ Dolgoplov P., Golovko T., Galyshynec T., Ivanova Y. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 36–39. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The plan of extention of the control systems' functional structure has been developed. Here is the developed model of creating the forecast chart of trains movement including operational factors of transportation process: current warnings, mass of train and capacity of locomotives, variable station intervals, availability and length of passengers platforms. Results of the research allow calculation and releasing of the most effective forecast schedule of trains movement to train dispatcher. The use of schedule increases speed on the road section and reduces expenses on train stops.

The proposed technology allows you to determine the optimal schedule of trains at each of their inconsistent approach to the railway district. This significantly reduces non-productive downtime of trains in times of concentration of train flows, in cases of unscheduled trains and at closing spans for repairs.

Keywords: centralized traffic control, Supervisory management, train dispatcher, station intervals, predicted schedule of trains movement.

УДК 658.52.011

Structure and algorithm of the automated control system for air traffic controllers admission to independent work/ Hryhoretskyy V. A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 40–43. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

In the article the principles of automated control system for the admission of air traffic controllers to work independently of the air traffic service. The proposed circuit training air traffic controllers to work independently using information models and stages of automated diagnostics air traffic controllers. The functional scheme of automated control system for the admission of air traffic controllers to work independently of air traffic

control. The concept of formalization and automation of decisions on the admission of air traffic controllers to work independently in terms of safety. Based on existing regulations and education - kfalifikatsiynh characteristics of the air traffic controller is developed and defined the structure of standardized information models and current air traffic controllers-trainees taking into account the possibility of losing skills, and model errors. Established a relationship between elements of knowledge and skills of air traffic controllers and possible errors.

Obtained principles, methods evaluation model is scientific methodic basis for the creation of automated control systems in the area of professional competence of operators particularly complex and dangerous systems.

In scientific work the author considers various software failure in the system: monitoring of government air traffic; radio system; failure data lines; failure detection functions conflict.

Keywords: air traffic controller, air traffic control simulator, model activities

UDK 565.212.5

Improvement of work of sorting hill as chains of vehicular process/ Kalashnikova T., Kostyak A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 43–45. – Bibliogr.: 12. – ISSN 2079-5459.

It analyzes the main problems in the yard and slides, as chains of transportation process. An increase of idle cars with recycling.

The aim of the article is to develop measures to reduce the duration of a cycle hump, as a component of the total downtime of the car, in order to ensure its reduction, in turn, will reduce operating costs and improve the competitiveness of rail transport compared with other modes of transport.

To reduce the length of delays in the operations cycle hump suggested: increasing the speed of arrival and sliding hump locomotive; reducing the time of dissolution by building a special way for the cars are not subject to dissolution with slides in the usual way; reduction of deposition of compositions in the ways of sorting the park by increasing the share of cars pull-ups on the part of the caudal neck sorting park; holding extra classes with the operators of the brake positions; increasing the number of workers.

Keywords: railway transport, marshaling hump, marshalling yard, simple wagons logistical approach.

UDC 621.391

Development and research of methods of decoding the soft cascade of code structures with soft decision iterative exchange/ Osadchy S.I., Kuznetsova E. Ya., Zubenko V.A., Golik E.P. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 46–52. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

This article deals with the increase of interference immunity of the discrete messages passing in the telecommunications systems and networks of the special setting, as well as in the control and connection systems on transport. To achieve this purpose the actual scientific and technical task was put. The task essence is to develop new methods of construction and decoding of cascade codes constructions with the improved properties. Mathematical apparatus of interference immunity estimation of discrete messages passing on the imitation design basic has got further development.

This article discusses the structure of concatenated codes based on the schemes of linear block codes multiplication (Turbo Product Codes). The methods of decoding with soft decision logic and procedures for exchange of soft decision turbo decoding algorithms. It provides an improved method of decoding the soft cascade of code structures with an iterative exchange of soft decisions. The research results can be used for the design of telecommunication systems and technologies and in the studying of such academic disciplines as communication theory and.

The empiric dependences between the correlation of signal to «signal/noise» and the probability of discrete messages error reception were designed. They correlate with the known results of similar tasks and allow to formulate the recommendations on their use in cascade code constructions.

Keywords: cascading code design, turbo-product codes, noise immunity transmission, soft decoding method.

УДК 539.3.01

Determination of the stress state of the inhomogeneous half-plane weakened by circular cavity under the action of a piecewise-distributed load on the straight boundary of the half-plane/ Kuliev E. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 52–55. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

In the presented article it is solved the plane problem of elasticity theory for an inhomogeneous half-plane with a circular hole under the action of a uniformly distributed load on the straight boundary of the half-plane. Rock deformation module is variable with depth of half-plane array. The problem is solved by methods of complex function theory (the theory of Laurent series, the Muskhelishvili method), in conjunction with the method of successive approximations. Solution of the problem is reduced to the determination of the two recurrent complex potentials presented in the form of Laurent series with unknown coefficients. The unknown coefficients are determined from the corresponding boundary conditions by the solution of two interconnected groups of recurrent systems of linear algebraic equations. Dynamic parameters are determined for homogeneous and heterogeneous environments of the half-plane array. Diagrams of hoop stress for zero and first approximation, as well as diagrams of dynamic hoop stress for zero and first approximations in the points of the contour of the circular opening are constructed.

Keywords: heterogeneous half-plane, complex potentials, Laurent series, method of successive approximations, hoop stresses.

UDC 65.001.1(075.8)

Conceptual model of synthesis of program management offices/ Petrenko Y. A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 55–58. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

In an article, in the development of methodology for program management and formalization of the process of synthesis of program management offices (SPMO) the set-theoretic description are carried out. These conceptual models provide a single formalized representation of the hierarchical structure of the program, bring a systematization to the complex semi-structured program management process and allow to get an idea of the dimension and complexity of the problem and its alternative solutions. To make these solutions in the synthesis of the single criterion SPMO positions functional and costly performance benchmarks of the SMPO option effectiveness are defined and formalized which, unlike the existing ones, permit to perform multi-factor evaluation of the effectiveness and to choose a compromise with the maximum quality, minimum time and cost.

System concept of SMPO synthesis in the form of models that are presented in the article is sufficiently general and defines the principles of its decomposition into specific tasks, such as selection of organizational structures and level of functional office authority, technology of implementation of the project management processes, communication setting between them, selection of the location, selection of qualified performers. To get the solutions further specification is needed.

Keywords: system concept, set-theoretic description, program management, project office.

UDC 004.93.673:61

Automated system for determining the outcome of myocardial infarction/ Yakubovskaya S., Nikonov V., Porvan A., Dovnar A., Chizhik E. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 58–62. – Bibliogr.: 19. – ISSN 2079-5459.

It is proposed an automated system for determining the outcome of myocardial infarction, which allows to record, process and analyze multiple diagnostically important, highly specialized information about patients with myocardial infarction and predict the state of the outcome of the disease in a patient, which is particularly important in acute and peracute period to further define tactics of therapeutic and diagnostic activities. The work is developed by the block diagram of the automated system of determining the outcome of myocardial infarction and a conceptual model for organizing the storage of patient data, the results of clinical, laboratory, and clinical and instrumental studies used in the subsequent rapid diagnosis and prognosis of the possible status of the patient after myocardial infarction.

The practical significance of the developed system is in its usage in a state and municipal medical cardiology institutions and departments of emergency medicine in determining the outcome of myocardial infarction and life expectancy, as well as a critical period for patients after acute myocardial infarction, as well as in the training of medical students in the educational institutions.

Keywords: automated system, myocardial infarction, coronary death, database, survival analysis.

UDC 656.222.3

Improvement of the organization of traffic volumes in modern conditions/ Sikonenko G., Muhortova C. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 62–65. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

In the article the problems connected with the car traffic volume organization are considered. Based on the analysis of existing methods of the car traffic volume organization it is found that much of the parameters in the calculation of plan formation schedule is not included in full. An amount of the cars belonging to other states, companies and operators is more than one third, and there are certain restrictions in the conditions of use, so it will be improve the current system takes into account the car traffic volume priority. Increase range of movement of trains significantly affect the delivery time by eliminating the processing free technical stations that most importantly regarding cars not belonging to Ukrainian Railways as payment for their use is much higher. In this paper, it is proposed the technique of increasing economic evaluation of car traffic volume transit by forming of trains with incomplete amount of the cars with completion to full amount during transition. The research results can be used and integrated into an automated system of train formation network plan development.

Keywords: car traffic volume, train formation plan, transit level, own car.

UDC 004.942(519.876.5)

Resource network based model for synchronization of adaptive controlled road intersections systems in transport hub with freestyle topology / Syrota S. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 65–68. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

The resource network based approach for modelling of road hub was approved. The proposed approach allows to examine and compare a

The resource network based approach for modelling of road hub was approved. The proposed approach allows to examine and compare a variety of crossroads control modules in order to optimize bandwidth of the transport hub. Proposed model is of discrete event type. The model, in the sense of a computer representation, is a vector of resource network vertices states. Graph of the network is represented as a list of edges. There are three types of vertices, intersections, transit and terminal. Transit vertices do not require additional resources; the state of terminal vertices is calculated by separate module that regulates the balance amount of vehicles in hub. Computational complexity of the model is $O(N)$, where N is a number of nodes. Such model can represent complex road network of large cities with a lot of intersections.

Keywords: resource networks, flow capacity, adaptive systems of traffic control, transport flow.

UDC 004.413.2

Optimization of project of network model of brewing production/ Dobrotvor I., Strubytsky P., Strubytska I. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 69–74. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

After analyzing of the brewing production of the specific enterprise the model of its diversification was proposed. This model allows tracking the effectiveness of investment in operational marketing of the company. The method of network planning and management was used to manage the development and implementation of the project of brewing production. The composition of works of the project, the logical sequence of works and events, duration of works were defined. This was based on the analysis of existing business processes. The result of the analysis and definition is the network model of brewing production. The planning of the marketing complex of the brewing company was conducted. The network model of works was constructed. Main indexes of the network model (early start, early finish, late start, late finish, full reserve time, independent reserve) and coefficient of tension were proposed and calculated. The optimization of the network model was conducted by reserve works and reallocation of resources. The result of the optimized network model of production is marketing complex plans, the objectives tree and the model of marketing operations.

Ключові слова: project management, network model, network planning, brewery production, model optimization, organization of management, calculation of network model, planning of production.

UDC 005.311.2:004.94

Process's case frame technological preproduction in the delirium of the integrated automated systems/ Treityak V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 74–78. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The process's model of technological preproduction is examined coming from reengineering of existent productive processes on an enterprise, introduction of key performance indicators to the model that is developed with the purpose further control of efficiency system of technological preproduction within the framework of design on different scenarios. The worked out algorithm of development of process's model technological preproduction is presented. Principles of design at description of process technological preproduction are certain. A research result is a model organizational model of technological preproduction that can be used on different machine-building enterprises as guidance on a management by the processes of technological preproduction. The worked out organizational models of technological preproduction are presented. The results of researches can be drawn on at development of the informative systems and technologies of automation of the basic stages of life cycle of difficult technical detail.

Keywords: technological preproduction, organizational model, imitation design, management by productive processes.

UDK 656.221

Improving traffic volumes passing through the international rail stations/ Malakhova O., Fat K. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 78–82. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

To enhance Ukraine's role in international projects and accelerate the modernization of European integration it should be perform management of transport systems that will provide opportunities to deepen compatibility with the EU networks. One of the promising areas is the improvement of international transition points. This will facilitate the implementation of Ukraine's export potential and attract foreign investment.

Analysis of the causes affecting the delay of cars at stations of transitional points showed that the main drawback to skipping import - export cargo is to prepare cars for loading, low quality repair and maintenance service on the route, informational imperfections, non-rational definition of the route on the Ukraine's railway network, in consequence of which there are decoupling car from the train during the border crossing. This analysis allowed formulating directions for future development. Formal problems of international rail distribution points suggested using a part of the functional tasks of operative workers' workstations of the stations and railways.

Keywords: transport, system, railways, car traffic volume, station, cargo, section, division point, service.

UDC 004.522

Method of improving the voice recognition reliability in difficult acoustic conditions/ Shtepa A., Kollarov A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 82–85. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

This article discusses the application of the methods of processing noisy signals in the systems of voice recognition and are some of the results of research in this area. The main purpose of the study is to improve the reliability of voice recognition systems voice control of technical objects in the noisy environment by increasing the ratio signal/noise due to the use of spatial separation of signals using multiple directional microphones and digital signal processing based on adaptive compensation of interference. The use of modern linguistic methods of speech recognition software in conjunction with the adaptive compensation method for processing a noisy signal can improve the accuracy of speech recognition software. As a criterion for defining the main channel was proposed to use the measure of closeness between the received signal and the reference obtained by the command recognition method based on nonlinear time alignment. The research results can be applied to voice recognition in voice control of technological equipment and means of transport.

Keywords: voice control, speech recognition, adaptive compensation, additive noise.

UDC 004.5:004.78 (045)

Realization approaches of hardware and software education complex for Braille font reading/ Artamonov Y. B., Kremenetsky G. M., Dluzevskiy A. O., Panforov O. V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 85–88. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

In this article the hardware and software complex for Braille font is observed. This complex consists of tactile display for six-dot symbol output and specialized software.

In this work, analysis of development and implementation of systems for visually impaired reading in Braille education took place and market of existing devices with common functionality was reviewed.

As a result, hardware and software complex was developed, tested, and had its functional modules, operational principles of hardware and software elements documented.

For the first time, approach of using the enlarged Braille font in electronic educational devices for visually impaired was used (analogous systems initially was built using standard six-dot size, which caused complications on the symbols memorizing stage).

Practical value of conducted research is lies in detailed documentation of hardware and software complex realization. This can be a significant simplification when industrial making of educational systems for visually impaired will take place, since in article element arrangement and ability of complex's network application are stressed. Research results can be used not only for production of electronic educational devices, not only for visually impaired, but also for teachers of blind students, as a medium to speed up and simplify learning of Braille font.

Key words: hardware and software complex, Braille font, visually impaired education, software.

UDC 656.96:330.123.6

Amendment methodology reasoning of market strategy a freight forwarder company/ Gladkovskay V. V., Raskevych I. V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P89–93. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

Up to date freight forwarder activity is most the develop dynamically. The Ukrainian market of forwarder activity services is on the stage of forming, and, presently, poorly presented by domestic forwarder activity companies able to give the complete spectrum of transport-logistic services and successfully to compete with their foreign partners. The problem of providing of competitiveness of the domestik freight forwarder company in the conditions of vagueness of environment of their functioning causes the necessity of methods and development of the strategic method a management by a freight forwarder activity. For a survival in the changeable world of organization must look over the aims and strategies, bring them over in accordance with the changes of environment and organizations. Development and revision of strategy are the real necessity at considerable changes in an environment, also as in aims, and politics of organizations. Insufficient theoretical working of the methodical aspects of strategic analysis, aimed at the account of specific of a freight forwarder activity, defined an actual requirement in the deep study of the tix problem.

Keywords: freight Forwarder Company, competitiveness, market strategy, factor, qualification, price politics.

UDC 656.212.5(23.01):004.942

Simulation model of the trains breaking-up process at the humps/ Bobrovskiy V., Dorosh A., Demchenko E. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 94–98. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The authors have developed a software complex, which allows to simulate the train breaking-up process at the automated hump. Simulation of cuts rolling process of breaking train in the model is carried out by the interaction of two independent modules: breaking module and control module. The hump model contains information about the plan, longitudinal profile, separating switches, retarders and sorting tracks, which allow to simulate the train movement and cuts rolling down. The developed software complex also allows to simulate the retardation position functioning, separating switches operation, track circuits functioning, controlling the cut overtaking, their colliding and pushing on sorting tracks. Retarders' parameters of braking positions are presented a part in the simulation model structure. It allows to investigate their effect on the sorting process.

The developed simulation model makes it possible to solve a wide range of problems of research and measures effectiveness evaluating, which are aimed at the quality improving of cut interval and target speed control, reducing the energy consumptions during the train breaking-up process at the automated humps.

Keywords: marshalling yard, gravity hump, breaking-up of trains, simulation model, braking mode

UDC 621.9.02

Spindle unit with electromechanical clamping mechanism/ Nedoboi V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 99–103. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

The paper presents the motor-spindle with electromechanical clamping mechanism is assembled on the basis of the modular principle on the basis of the motor-spindle. The basis is ready module motor-spindle, which is the standard unit, and interchangeable modules are driven clamping and clamping chuck, that increasing its technical and economic indicators. Give options and basic technical specifications. Presents the use of the motor-spindle in two variants: without the use of a module with an electromagnetic clutch and with module - for tripping of torque on the clamping mechanism. It also shows the key building components and their arrangement and controls elements the motor-spindle and drive clamping mechanism. Also indicated its standard components that are unified. Considered structural diagram of the motor-spindle for both options and elements of interaction between its parts. Recommendations are given for future experimental and theoretical studies.

Keywords: motor-spindle, electromechanical clamping mechanism, the drive clamp, modular principle, chuck

UDC 658.516.3:664.8.037.5

Technological aspects of frozen reverse semi-finished products/ Odarchenko D. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 103–107. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

It was developed the technology of production of frozen reverse semi-finished products in liquid and solid phases of wild berries, cultivated mushrooms, tomato vegetables (tomatoes and peppers), chicken (broilers) and fish (silver carp). This technology involves the use of double cycle of freezing and centrifugation to obtain phase-reverse products. Based on the characteristics of the chemical composition of the selected objects of study

has been identified a number of functional and technological parameters for each of them in order to further justify their use in the technology of food and culinary specialties.

It was determined that the liquid phase of the berries have a more pronounced color properties, gelling and foaming abilities that can be applied in dessert technology such as kissel, mousses and jellies. Liquid and solid phases of tomato fruits are characterized by pronounced color characteristics (hue and the color purity) and also high organoleptic properties for different methods of heat treatment. FTP analysis of comminuted meat (solid phase) showed that the samples are characterized by low values of moisture and fat-retaining abilities, so their use in traditional technologies of chopped semi-finished products requires the use of additional stabilizers and structure-forming agents.

Keywords: reverse semi-finished products, functional and technological properties, production technology, liquid and solid phases.

UDC 66-9

Analysis of carbonization process of soda solution in the production of purified sodium bicarbonate, ways of process intensification and improving the quality of crystal products/Vasyliiev M., Pitak I., Shaporev V., Pitak O. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 107–117. – Bibliogr.: 17. – ISSN 2079-5459.

Because there is no reliable information on the effect of hydrodynamic factors on the amount, NaHCO_3 rate, NaHCO_3 final distribution of particles in size and weight, the problems of the impact of these factors were considered by varying the types of plates inside the carbonization column, their combinations and the distance between them.

Changes in the internal structural design were carried out on a sample of the existing industrial column. Analysis of the research results shows that in the column with the highest combination of contact elements in the mass transfer processes associated with the absorption of CO_2 flow is twice as intense, which improves performance of the column in 1.5 times, while maintaining its size, and run the equipment from cleansing to cleansing in 1.7 times.

The results can be used in the modernization of soda production in order to improve the performance of carbonation columns, and improve product quality. According to the research it was received a patent for utility model of Ukraine, in particular the construction of a new carbonization column.

Keywords: soda production, solution, carbonization column, hydrodynamic factors, contact element, supersaturation degree.

UDK 631.331:633.63

Technological aspects of improving sugar beet planting unit for elite seeds/ Prasolov Ye., Lapenko G., Lapenko T., Bielovol S., Shmigol V., Shkryabun B. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 117–125. – Bibliogr.: 15. – ISSN 2079-5459.

In the article it is revealed the analysis of literature and patent information and industrial experience that allowed suggest improvement of the planting unit construction. Device for supplying nutrients, growth stimulants and water storage granules was installed on the unit during researches. According to studies it was established relationship: planting step on the number of planting unit revolutions; planting density on the distance between the rear wheel compactors; soil compaction on the width of grooves; planting depth on the distance between the axles of planting 4-hedron and wheel compactors; vertical planting on the angle of the planting cone; traction resistance on the furrow-forming wheel on the width of grooves; traction resistance on the furrow-forming wheel on the depth of grooves; traction resistance on the planting step; torque on the planting step. It is proposed energy-saving technology of sugar beet growing for elite seeds using the method of economic evaluation of units for test level conducted according to GOST 4397.

The article includes a comprehensive study to improve the design of sugar beet planting unit for elite seeds, taking into account the biological characteristics of plant development and ensuring energy efficiency requirements and economic feasibility of introducing into production.

Keywords: planting unit, growth additives, accumulated energy intensity of production, cyclically consistent measurement of parameters.

UDC 621.65:62-9.001.24

Review the parameters of submersible borehole pump's stages for water supply/ Kaplun I., Oprysko M. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 126–130. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

The main aim of the article was to study the experience of development of borehole pumps and statistically analyze the parameters of their stages for major companies, presented on the market of Ukraine. The second goal was to consider forming a basis for the requirements to small-sized axial stages and their main parameters to create a competitive pump equipment.

As a result of statistical analysis parameters of borehole pump's stages the best parameters for dimensional size 8 "and 10" were determined, that might be used as a guide when the dimension-type series of borehole pumps based on the small axial stages creating. Based on the data summary charts parameters pre-selected three basic axial stages for the dimensional size 8 "and 10" with the capacities of 90, 120, 150 cubic meters per hour and 160, 210, 280 cubic meters per hour respectively. The capacity values will be the subject of further research and updating to enable the filling in the whole range of necessary capacities of borehole pumps with minimal reduction efficiency (up to 3%) on the borders of the range.

Keywords: water supply, borehole pump, parameters of the stage, standard series, efficiency, axial stage

UDC 664.83.047.8

Improving the process of obtaining products from yeast-fermented dough by accelerated method/ Popova S., Nykyforov R., Slashcheva A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. . – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Today the most important in technology of yeast products in small bakeries are accelerated methods of dough process. The relevance of this work due to the need to create accelerated technology of yeast-fermented dough for baking industry using additives of secondary potato processing products (SPPP) as a source of easily digestible sugars that allows to speed up the dough process by preliminary activation of yeast. The use of SPPP additives in technology of yeast-leavened baked products will not only efficient use of raw materials but also to create accelerated technology of yeast-fermented dough without the use of hazardous substances.

The article presents the fundamental equipment charts of technological process of dry potato additives (DPA) received from SPPP. Based on the research results of the DPA functional properties and its impact on physical and chemical, structural, mechanical, microbiological properties of yeast semi-finished products and finished products, and modes and conditions of its mixing to the recipe it is proposed equipment solution of obtaining products from yeast-fermented dough by accelerated method.

These schemes are chosen for enterprises as a great power, and for bakeries with incomplete production cycle.

Keywords: secondary potato processing products, dry potato additive, equipment chart, process, yeast-fermented dough.

UDC 621.3: 622: 519.24

The cost of living person in investigating complex man-made accidents the mining industry/ Kobilyansky B., Mnukhin A. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2015. – № 49(1158). – С. 134–136. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

The various approaches to assessing the valuation of human life are identified and analyzed, the factors affecting the valuation of human life in the analysis of serious technological accidents in coal mines are defined. On the basis of Makeyevka Research Institute of fatal injuries was conducted

numerical analysis of valuation of "human life" in the coal industry of Ukraine. In turn, the analysis showed that the estimates of the living cost on the "method of determining the damage to the national economy from the injury (death) of people (the definition of the economic impact of the preservation of life) most fully reflect all aspects of human activity, the circumstances of injury or death, causing the individual physical and mental suffering in connection with the transfer of the loss or injury.

Keywords: valuation of human life, analysis of severe technogenic accidents, coal industry

UDC 614.838.001.18

The possibility of explosions in areas where used household gas and electric networks 0.4 / 0.22 kV/ Moskva I., Kovalev A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 137–144. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Explosion of gas-air mixture in the room, which uses natural gas and operated network of 0.4 / 0.22 kV can occur whenever the coincidence in time and space the following two random events: there was room explosive concentration of methane-air mixture; the room was damaged network and it appeared a source of ignition of 0.4 / 0.22 kV (short circuit, arcing at loose power contact connections, etc.).

Based on regular homogeneous Markov processes with discrete number of states and continuous time, the mathematical model by which it is possible to estimate the explosion space, which use natural gas network and 0.4 / 0.22 kV, taking into account: the frequency of occurrence of an explosive concentration of methane-air mixture ; the duration of its existence; volume of the space; volume of gas emitted from the damaged pipeline; air flow as a result of natural ventilation; changes in the concentration of methane in the course of time; as well as the frequency of occurrence of electrical ignition source and the duration of its existence.

A new analytical dependence: the probability of occurrence of explosions in the room for a time t on the frequency of occurrence of an explosive methane-air mixture, its length of stay in a hazardous condition, the frequency of occurrence of the source of ignition and the duration of its existence.

Keywords: explosion of methane mixture, explosion, dangerous electrical source, Markov processes.

UDC 004.89:614.841.4

Determining the optimal configuration variants of rescue equipment using fuzzy inference/ Kryshchal V., Sergieiev F., Snytyuk V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 144–148. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

In the article the problem of completing the rescue equipment in the uncertainty conditions is considered due to the limited dimensions of carrier of such equipment, as well as a large number of items of equipment and variety of its characteristics.

The result of the study are: a formalized statement of the problem of completing rescue techniques, determining the criteria that influence the choice set of equipment, determining the process subjective preferences on the set of expert opinions and practical option and calculate the optimal set of engineering values using membership functions.

The scientific innovation include the results concerning the formalization of the problem of completing rescue techniques, choice of evaluation criteria it sets, the method of determining the optimal variant of acquisition based on expert opinions and use elements of fuzzy set theory and the analytic hierarchy process.

The practical significance of the proposed method lies in its application to the process of completing rescue techniques and developing relevant guidance and decision support systems. Reducing uncertainty in decision making will lead to its objectification.

Keywords: rescue equipment, completing, fuzzy conclusions, analysis of hierarchies, membership function.

UDC 614.771

Heavy metal pollution of industrial cities/ Buvalets D. Y., Kapystin A. E. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 148–152. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

Heavy metal pollution of cities is an urgent environmental problem. As an example we took Mariupol, on the territory of this city there are two large metallurgical plants. We have studied the heavy metal pollution of urban soils, river water and sediment, which are under the influence of the steel industry.

Studies have established the degree and nature of pollution of the Mariupol by various heavy metals. Also, study revealed excess of some heavy metals in the river waters and sediments.

We found out that the pollution of chromium, copper and nickel has the character of areas, localized near the metallurgical plants. It was established that the main source of pollution by these metals are coarse dust emissions.

Whereas zinc and lead contamination is observed in all city territory. Based on analyzes of metallurgical emission, it was found that the main source of zinc and lead are the atmospheric emissions of fine dust.

Study of soil pollution with heavy metals in Mariupol and determination of the impact of the steel industry was carried out for the first time. The results can be used for further monitoring of pollution of the city with heavy metals and the development of measures to improve the environmental security.

Keywords: zinc, lead, chromium, copper, nickel, heavy metals, soil, soil pollution, metallurgical waste, environmental safety.

UDC 621.923

Optimizing the design of a rotary head in the module "STRESS ANALYSIS" AUTODESK INVENTOR/ Geichuk V. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 153–160. – Bibliogr.: 14. – ISSN 2079-5459.

The method of optimizing the design of the nodes on the criterion of strength in the CAD / CAE systems with built-in finite element analysis based on their functional limitations, particularly in Autodesk Inventor. The instrument of the parametric researches which have been built-in to Autodesk Inventor, is used in a designed technique at simulation of the is intense-deformed condition of a construction. Recommendations for selection of contact pairs of standard contacts and joints are developed. Also provided are some practical tips for creating the configuration parameters of the model. Some of these include the establishment of relations between the components of the assembly. The optimization of the design of rotary head for magneto-abrasive treatment in the magnetic system of "bathtub ring". Optimization criterion served as a safety factor, one of the main constraints - the working angle of the spindle in the range of 0-60 degrees.

Keywords: magnetic abrasive machining, circular bath, design, voltage optimization, safety factor

UDC 629.7.025.7

The aerodynamic characteristics of a thin profile with spoilers/ Kovtonyuk I. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158).– P. 161–164. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Aerodynamic characteristics of a thin profile with a spoiler located on the lower surface of the profile are obtained on the basis of the method of discrete vortices. The data with calculations of other authors are compared to validate the results of computational experiments. Methodical studies of the effect of vortices modeling profiles with spoilers, the accuracy of the aerodynamic characteristics are defined. For a reasonable simulation accuracy is sufficient to place 7 of the vortices on the vortex profile and 3 on the spoiler.

A profile mechanization as a spoiler is viewed in the numerical experiment. Spoiler positions along the chord on the lower and upper surface, the angle of spoiler deflection, spoiler chord are ranged for profiles with spoilers.

It is found that the used method of calculation can simulate all the main effects caused by the rejection of profile mechanization. It is analyzed the pattern of pressure distribution in the flow profile with spoiler and revealed the physical nature of the formation of the control effect. The spoiler extension on the profile during attached flow leads to inhibition of the flow and increase the pressure on the upper surface of the front spoiler profile, increased vacuum on the lower surface of the airfoil.

The pattern of the pressure distribution changes significantly in the event of separation on the front edge of the profile. Passing under the profile the control sheet creates a rarefaction zone on its lower surface, and interacting with the aft sheet, is sucked into the space above the upper surface of the profile and then carried away by the flow.

It has been established that the control body is a vortex, because the control effect at the location of the front spoiler near the edge of the profile is created by powerful vortex sheet coming down from the trailing edge of the spoiler, but not the load on the spoiler.

Keywords: wing profile, aerodynamic characteristics, spoiler, pressure coefficient, computational experiment, vortex.

UDC 534.131, 681.819

Computer simulation of bell's vibrations/ O. V. Avdeev, V. P. Zayets, S. G. Kotenko //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158). – P. 164–169. – Bibliogr.: 11. – ISSN 2079-5459.

The bell is a musical instrument with the speech which is not characteristic for most instruments. The speech of bells contains a large number of overtones but the frequencies do not constitute an arithmetic progression. The studies of the bell oscillations are of interest to predict its speech. Since the bell has a shape difficult enough and variable thickness, it is not possible to solve the problem by rigorous analytical methods. Therefore, to determine modes and natural oscillation frequency it was suggested using numerical methods, namely the finite-element method.

A computer model of the bell having geometrical dimensions and physical and mechanical properties fully identical to a real bell was developed. The calculated frequencies were compared to the frequencies obtained during the experiment with a real bell. It was found that the relative error of the calculated natural oscillation frequency of the bell made up not more than $\pm 5\%$. Furthermore oscillation modes were obtained. According to the results of calculations it can be claimed that only axially symmetric oscillations take part in the creation of the bell sound, while asymmetric and vertical oscillations are not excited in the bell.

The developed model allows designing the bells with predetermined timbre characteristics as well as analyzing the influence of different parts of the bell on the generated sound.

Keywords: bell, finite element method, vibration modes, the natural frequency, spectral analysis.

UDC 004.942:004.021

Connectivity optimization of the elements in the tasks of computer-aided system design/ Stanovskiy A., Shvets P., Toropenko A., Bondarenko V., Stanovskiy A., Abu Shena O., Krasnogon A. //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158). – P. 170–175. – Bibliogr.: 21. – ISSN 2079-5459.

It is shown that the optimization of complex systems in the CAD should be taken into account as restrictions objectively existing relationship within a certain area of optimizing the arguments between the individual elements of these systems. The problems of "reverse" optimization where the target function parameters are the area of connectivity, which in many cases provides more efficient solutions in computer-aided design, are considered.

It is theoretically proved and practically, by computer simulation and testing, confirmed the possibility of reducing the design time and product quality of electrical production through the use of CAD, which provides an effective optimization of parameters of loosely coupled subsystems of the design object with the objective function in the form of connectivity area.

In SME STC "Techservice" (Odessa) it is conducted test of developed CAD «EVOSOFT». As the object of computer-aided design it is used transformer of the TM 25/10 / 0.4 model. As a result, the test found that the use of CAD «EVOSOFT» for electrical equipment is possible to reduce the weight of the transformer by 15 % while maintaining its consumer properties.

Keywords: related items of the complex systems, parameters of connectivity area, reverse optimization, CAD.

UDC 004.94:377

Geometric and graphic computer models in the educational process/ Inna Khomenko //Bulletin of NTU "KhPI". Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU "KhPI", 2015. – № 49 (1158). – P. 175–179. – Bibliogr.: 16. – ISSN 2079-5459.

Analyzed the current problems of graphic preparation, particularly highlighted features of modern graphics training. We consider the geometric and graphic computer models used to design and design. The methods and means of geometric modeling of bulk solids, including methods for constructing three-dimensional models and geometric operations. Determined importance parameterization geometric patterns, as such, providing variance models.

The basic task of the work – design and implementation of information technology for the synthesis of structural geometric models to automate training engineering students, including the creation of geometric accuracy and control playback of image models.

Developing and improving the efficiency of industrial production directly related to the introduction of new information technology (IT), which is constrained from want of qualified specialists. Young professionals, in addition to knowledge, must have practical skills of computer technology in engineering activities. For efficient organization of educational process in schools should ensure the availability of modern software and hardware for industrial use, and appropriate to their level methodologies.

Keywords: automated learning design, learning process, engineering design, geometric patterns and graphic.

ЗМІСТ

Внуков А. А. Структура и свойства спеченных материалов на основе системы Fe-Cu-C, полученных с применением различных способов легирования.....	3
Булат А. Ф., Иванов В. А., Голов К. С., Ткаченко В. А., Степаненков Е. И. Феноменологическое обоснование влияния гидратации фосфогипсовой матрицы с редкоземельным наполнителем на ее радиационно-защитные свойства.....	6
Панченко А. Н., Сусло Н. В., Иванов А. С. Применение экономнолегированных сталей для деталей, работающих в условиях абразивного износа и термоциклических нагрузок	11
Калинин А. В. Особенности наномодифицирования многокомпонентных сплавов.....	14
Градиський Ю. О., Карпусенко О. В., Янчик О. Г. Вплив швидкості охолодження на структуру інструментальних сталей	18
Трегубенко Г. Н. Перераспределение водорода между фазами при кристаллизации алюминия и его сплавов.....	21
Луцась А. В., Яремій І. П., Матківський М. П., Яремій С. І. Фізико-хімічні характеристики продуктів сумісного осадження магній, ферум та хром гідроксидів і продуктів їх термічного розкладу.....	26
Ащепкова Н. С., Капера С. С. Імітаційне моделювання руху транспортного робота.....	33
Долгополов П. В., Головка Т. В., Галишинець Т. В., Іванова А. Удосконалення диспетчерського керівництва дільниці на основі прогностичного моделювання перевізного процесу.....	36
Григорєцький В. О. Структура і алгоритм роботи автоматизованої системи управління допуском авіадиспетчера до самостійної роботи.....	40
Калашнікова Т. Ю., Костяк А. Й. Удосконалення роботи сортувальної гірки як ланцюга перевізного процесу.....	43
Осадчий С. И., Кузнецова Е. Я., Зубенко В. А., Голик Е. П. Разработка и исследование методов мягкого декодирования каскадных кодовых конструкций с итеративным обменом мягкими решениями.....	46
Кулиев Э. Б. Определение напряженного состояния неоднородной полуплоскости, ослабленной круговой полостью, при действии кусочно-распределенной нагрузки на прямолинейной границе полуплоскости	52
Петренко Ю. А. Концептуальна модель синтезу системи офісів з управління програмами.....	55
Якубовская С. В., Никонов В. В., Порван А. П., Довнар А. И., Чижик Е. И. Автоматизированная система определения исхода инфаркта миокарда.....	58
Сіконенко Г. М., Мухортова К. А. Удосконалення організації вагонопотоків в сучасних умовах	62
Сирота С. В. Модель синхронізації роботи адаптивних систем регулювання дорожнього руху на перехрестях транспортного вузла довільної топології на базі ресурсної мережі.....	65
Добротвор І. Г., Струбицький П. Р., Струбицька І. П. Оптимізація проекту мережевої моделі броварного виробництва.....	69
Трейтяк В. В. Процесна модель управління технологічною підготовкою виробництва в середовищі інтегрованих автоматизованих систем.....	74
Малахова О. А., Фат К. Е. Удосконалення пропуску вагонопотоків через міжнародні залізничні стикові пункти.....	78
Штепа А. А., Колларов А. Ю. Метод повышения достоверности распознавания речевых команд в сложных акустических условиях.....	82

Артамонов Є. Б., Кременецький Г. М., Длужевський А. О., Панфьоров О. В. Підходи до реалізації апаратно-програмного навчального комплексу шрифту Брайля	85
Гладковская В. В., Раскевич И. В. Розробка методики обґрунтування ринкової стратегії транспортно - експедиторської компанії	89
Бобровський В. І., Дорош А. С., Демченко Є. Б. Імітаційна модель процесу розпуску составів на сортувальних гірках.....	94
Недобой В. А. Шпиндельный вузол з електромеханічним затискним механізмом.....	99
Одарченко Д. Н. Технологические аспекты производства обратимых замороженных полуфабрикатов...	103
Васильев М. И., Питак И. В., Шапоров В. П., Питак О. Я. Анализ процесса карбонизации содового раствора в производстве очищенного бикарбоната натрия, пути интенсификации процесса и повышения качества кристаллов продукции.....	107
Прасолов Є. Я., Лапенко Г. О., Лапенко Т. Г., Беловол С. А., Шмиголь В. К., Шкрябун Б. М. Технологічні аспекти покращення агрегатів по висадці цукрового буряку на елітне насіння.....	117
Каплун І. П., Оприско М. Б. Аналіз параметрів ступенів свердловинних насосів для водопостачання...	126
Попова С. Ю., Никифоров Р. П., Слащева А. В. Удосконалення технологічного процесу одержання виробів із дріжджового тіста прискореним способом.....	130
Кобылянский Б. Б., Мнухин А. Г. Учет стоимости жизни человека при расследовании сложных техногенных аварий горной промышленности.....	134
Ковалев А. П., Москвина И. И. О вероятности возникновения взрывов в помещениях, где используются бытовой газ и электрические сети 0,4/0,22 КВ	137
Кришталь В. М., Сергєєв А. В., Снитюк В. Є. Визначення оптимального варіанту комплектації аварійно-рятувальної техніки з використанням нечітких висновків.....	144
Бувалец Д. Ю., Капустин А. Е. Загрязнение территорий промышленных городов цинком и другими тяжелыми металлами	148
Гейчук В. Н. Оптимизация конструкции роторной головки в модуле "Анализ напряжений" AUTODESK INVENTOR.....	153
Ковтонюк И. Б. Аэродинамические характеристики тонкого профиля с интерцептором.....	161
Авдєєв О. В., Засць В. П., Котенко С. Г. Комп'ютерне моделювання коливань дзвону.....	164
Становський О. Л., Швець П. С., Торопенко А. В., Бондаренко В. В., Становський А. О., Абу шена О., Красножон О. М. Оптимізація зв'язності елементів в задачах автоматизованого проектування систем	170
Хоменко І. В. Геометричні та графічні комп'ютерні моделі навчальному процесі.....	175
Реферати.....	180
Рефераты.....	186
Abstracts.....	192

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
"ХПІ"**

Збірник наукових праць

Серія:

Механіко-технологічні системи та комплекси

№ 49(1158)

Наукові редактори: д-р техн. наук, проф. Д. О. Дьомін
д-р техн. наук, проф. О. В. Акімов
Технічний редактор П. С. Пензєв

Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г. Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ».
Кафедра ливарного виробництва.
Тел. (057) 707-68-54; e-mail: c7508990@gmail.com

Обл.-вид. №49-15

Підп. до друку 27.11.2015р. Формат 60x84/16. Надруковано на різнографі
Gestetner 6123CP. Ум.-друк. арк. 8. Облік.вид.арк. 8,75.
Наклад 100 прим. Зам. № 49-15. Ціна договірна

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію суб'єкта видавничої справи
ДК №3657 від 24.12.2009
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня "Технологічний Центр"
Свідоцтво про державну реєстрацію №1 480 120 0000 021055 від 02.04.2002
Адреса: 61145, м. Харків, вул. Шатилова дача,4, тел. (057)750-89-90