**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Рекомендовано до друку Вченою радою
Херсонського національного технічного університету
(протокол № 7 від 08 червня 2012 року)

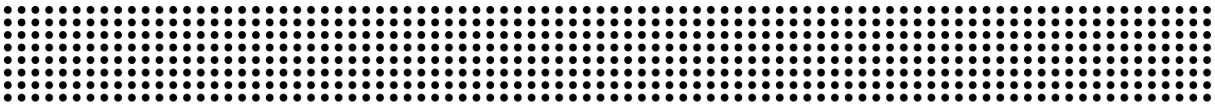
Журнал «Проблеми інформаційних технологій» включено
до Переліку наукових фахових видань ВАК України
(Постанова Президії ВАК України №3-05/6 від 06.10.2010 р.),
у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт
на здобуття наукових ступенів доктора та кандидата наук

ISSN 1998-7005

#01(011) червень 2012

РЕДАКЦІЙНА РАДА
Головний редактор
ХОДАКОВ Віктор Єгорович
/доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України/
Заступники головного редактора
ЖАРІКОВА Марина Віталіївна
/кандидат технічних наук, доцент/
КОСТІН Владислав Октябревич
/кандидат технічних наук, доцент/
Відповідальний секретар
БАРАНЕНКО Роман Васильович
/кандидат технічних наук, доцент/

Бардачов Юрій Миколайович	
засл. діяч науки і техніки України	д.т.н., професор
Павлов Олександр Анатолійович	
засл. діяч науки і техніки України	д.т.н., професор
Ходаков Віктор Єгорович	
засл. діяч науки і техніки України	д.т.н., професор
Хомченко Анатолій Никифорович	
засл. діяч науки і техніки України	д.ф-м.н., професор
Лубяний Віктор Захарович	
засл. винахідник СРСР	д.т.н, професор
Ахметшин Олександр Михайлович	д.ф-м.н., професор
Башков Євген Олександрович	д.т.н., професор
Бурков Володимир Миколайович	д.т.н., професор, Росія
Бусигін Борис Сергійович	д.т.н., професор
Висоцький Юрій Борисович	д.х.н., професор
Загарій Геннадій Іванович	д.т.н., професор
Каргін Анатолій Олексійович	д.т.н., професор
Коваленко Ігор Іванович	д.т.н., професор
Козак Юрій Олександрович	д.т.н., професор
Кокошко Володимир Семенович	д.т.н., професор
Кошкін Костянтин Вікторович	д.т.н., професор
Левикін Віктор Макарович	д.т.н., професор
Лізунов Петро Петрович	д.т.н., професор
Марасанов Володимир Васильович	д.т.н., професор
Мельник Анатолій Олексійович	д.т.н., професор
Михайленко Віктор Мефодійович	д.т.н., професор
Мишко Сергій Васильович	д.т.н., професор
Пасічник Володимир Володимирович	д.т.н., професор
Петров Едуард Георгійович	д.т.н., професор
Пушкарь Олександр Іванович	д.е.н., професор
Рябенький Володимир Михайлович	д.т.н., професор
Руденко Олег Григорович	д.т.н., професор
Синекоп Микола Сергійович	д.т.н., професор
Скобцов Юрій Олександрович	д.т.н., професор
Соколова Надія Андріївна	д.т.н., професор
Філіпенко Ігор Григорович	д.т.н., професор
Фісун Микола Тихонович	д.т.н., професор
Цвіркун Анатолій Данилович	д.т.н., професор, Росія
Шарко Олександр Володимирович	д.т.н., професор
Шаронова Наталія Валеріївна	д.т.н., професор



ЗАСНОВНИК

Херсонський національний технічний університет — м. Херсон

ПРИ ПІДТРИМЦІ:

Донбаської національної академії будівництва та архітектури	м. Макєєвка
Донецького національного технічного університету	м. Донецьк
Донецького національного університету	м. Донецьк
Європейського університету	м. Київ
Київського національного університету будівництва і архітектури	м. Київ
Чорноморського державного університету ім. П.Могили	м. Миколаїв
Національного авіаційного університету	м. Київ
Національної гірничої академії України	м. Дніпропетровськ
Національного технічного університету „Київський політехнічний інститут”	м. Київ
Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”	м. Харків
Національного університету кораблебудування ім. адмірала Макарова	м. Миколаїв
Національного університету "Львівська політехніка"	м. Львів
Одеської національної академії харчових технологій	м. Одеса
Української державної академії залізничного транспорту	м. Харків
Харківської національної академії міського господарства	м. Харків
Харківського державного університету харчування та торгівлі	м. Харків
Харківського державного економічного університету	м. Харків
Харківського національного університету радіоелектроніки	м. Харків
Херсонського державного аграрного університету	м. Херсон
Херсонської державної морської академії	м. Херсон

ЗМІСТ

В.Е. Ходаков, Н.А. Соколова, Д.В. Хапов Модели оценивания состояния территориально-производственных социально-экономических систем 6

Ю.П. Кондратенко, О.В. Козлов Нечіткі регулятори в системах керування реакторами багатоконтурних піролізних установок 12

В.В. Марасанов, А.В. Рудакова, В.С. Дымов, А.О. Дымова Алгоритм оценки условий возникновения опасных сочетаний параметров при испытаниях динамических объектов 21

В.П. Писклакова, О.А. Писклакова Метод принятия многокритериальных решений в условиях нечеткой информации 24

Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова,Д.І. Ємельянова, М.М. Козуля Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем 29

В.В. Марасанов, О.И. Забытовская, А.О. Дымова Анализ динамических уравнений межотраслевого баланса методом теории возмущений 37

Ю.А. Прокопчук Анализ временных рядов на основе принципа предельных обобщений 41

Н.И. Бабенко Модель сети байеса для оценки степени значимости влияющих факторов в системах дефектоскопии механических характеристик металлов 53

П.П. Костенко Теоретико-множинна модель інформаційної системи в задачі зовнішньої оптимізації *SQL*-запитів 57

Е.Н. Ляшенко Методы оценки природной пожарной опасности лесного фонда (на примере Херсонской области) 65

О.В. Терещенкова Аналіз критеріїв оцінки прийняття рішень у судноремонті 69

В.Г. Шерстюк Метод пошаговой верификации решений в сценарно-прецедентной интеллектуальной системе управления динамическими объектами 76

П.Й. Гучек Алгоритми візуалізації температурних полів у просторі 88

А.В. Букетов, Л.В. Кравцова, А.П. Пірог Прогнозування властивостей гетерогенних композитних систем з використанням методів математичного програмування 95

ЗМІСТ

Г.В. Веселовська, А.Д. Чеклін, І.І. Кибалко Концепції та методи вдосконалювання автоматизованих інформаційних систем з комп'ютерної графіки 100

Д.Е. Иванов Алгоритм диагностического моделирования СБИС 107

М.І. Козленко Ефективність використання частотної смуги при формуванні широкосмугових сигналів в розподілених комп'ютерних та телекомунікаційних системах 115

Н.А. Соколова, В.Э. Орел, А.А. Селезнева, А.В. Гусынин, С.В. Колесник Алгоритм компьютеризированного анализа изображений гистологических препаратов 121

О.С. Тимчук Перспективное направление развития вычислительного интеллекта в индустрии видеоигр 128

И.И. Коваленко, А.В. Швед Технология построения модели ранжирования экспертных оценок на основе теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений 136

В.З. Лубяный, Д.А. Бражник Динамика информационно управляющих систем 143

В.А. Ткач, С.А. Рожков Особенности построения систем управления в интеллектуальных интерфейсах 149

О.В. Галкін Концепція адаптивного мовлення та системи автоматичної підготовки контенту 153

В.С. Заболотнікова Застосування нечіткої кластеризації для удосконалення контролю в податковій службі 159

АНОТАЦІЇ 165

МОДЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 519.713

ХОДАКОВ Виктор Егорович
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: прогрессивные информационные технологии.

СОКОЛОВА Надежда Андреевна
д.т.н., профессор, заведующая кафедрой экономической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: компьютеризированные системы обучения; компьютеризированные системы управления.

ХАПОВ Денис Викторович
старший преподаватель кафедры экономической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: методы и модели автоматизированного управления социально-экономическими системами.

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Территориально-производственные социально-экономические системы (ТПСЭС) (регионы, города, распределенные крупные промышленные предприятия, службы ЖКХ регионов, городов, строительной индустрии региона, города и т.п.) являются сложными пространственно-распределенными объектами, характеризуются пространственной и функциональной распределенностью, асинхронным взаимодействием процессов и компонент. Эффективное управление такими объектами возможно только при наличии информации о состоянии объекта (системы), поэтому необходимо решение задач распознавания и оценивания состояния объекта. Оценивание состояний таких объектов является важной и актуальной научно-производственной задачей. Современные требования к повышению эффективности функционирования и развития ТПСЭС в условиях нежелательных ограничений и нестабильности внешней среды вызывают необходимость создания и исследования моделей оценивания состояний ТПСЭС [1-4].

Целью работы является разработка математической модели оценивания состояний территориально-производственных социально-экономических систем.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Множество состояний A объектов (ТПСЭС) можно представить в виде:

$$A\{0/_a, \{A_a\} \supseteq \{A(0)\}_a\}, a \in A \qquad (1)$$

Состояние объекта (ТПСЭС) может быть представлено в виде отношений (1):

$$R(X, Y, Z) \subseteq X \times Y \times Z \neq \emptyset.$$

При функционировании, взаимодействии объектов реализуется сложное пространственно-распределенное взаимодействие динамических объектов

$$\{P_{zj}\}, j = J,$$

где J – множество индексов процессов, которые могут иметь детерминированный характер Д, стохас-

тический, нечеткий $\tilde{F}$. При оценивании объектов $A(0)_\alpha$ необходимо учитывать влияние на них множества факторов $\{\Phi_к\}$ и динамических процессов $\{P_{zj}\}$.

В качестве обобщённых интегральных характеристик оценки состояния ТПСЭС нами были приняты два показателя устойчивость развития объекта и инвестиционная привлекательность объекта. Необходимо определять состояние объекта $A(0)_\alpha$ в координатах $R(X,Y,Z)$ с учетом множества критериев, показателей, факторов $\{\Phi_к\}$ и динамических процессов $\{P_{zj}\}$.

Состояние любого объекта ТПСЭС характеризуется набором частных показателей, критериев и их значениями. Вся совокупность критериев каждого варианта может быть разбита на отдельные группы. Например, при оценке устойчивости развития ТПСЭС совокупность показателей разбивается на три группы показателей, а при оценке инвестиционной привлекательности объекта на 9 групп. Это справедливо только для тех случаев, когда не учитывается влияние природно-климатических факторов. При учете ПКФ вводится еще одна дополнительная группа показателей.

Так, например, при анализе устойчивости развития ТПСЭС обобщенная оценка состояния учитывает параметры трех групп критериев

$$I_{\text{ур}} = Q_1(I_{\text{эки}}, I_{\text{эи}}, I_{\text{си}}), \qquad (2)$$

где $I_{\text{эки}}, I_{\text{эи}}, I_{\text{си}}$ – критерии, определяющие характеристики соответственно экономического, экологического и социального направлений развития системы.

А при учете инвестиционной привлекательности обобщенная оценка состояния учитывает показатели (факторы) следующих групп критериев

$$I_{\text{инв}} = Q_2\begin{pmatrix} I_{\text{эгп}}, I_{\text{рсп}}, I_{\text{тп}}, I_{\text{эп}}, \\ I_{\text{пр}}, I_{\text{инф}}, I_{\text{нтп}}, I_{\text{ип}}, I_{\text{ир}} \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

где $I_{\text{эгп}}, I_{\text{рсп}}, I_{\text{тп}}, I_{\text{эп}}, I_{\text{пр}}, I_{\text{инф}}, I_{\text{нтп}}, I_{\text{ип}}, I_{\text{ир}}$ – критерии, определяющиеся соответственно характеристиками экономико-географического положения, природно-ресурсного потенциала, трудового потенциала, экономического потенциала, емкостью потребительского рынка, инфраструктурного потенциала, научно-технического потенциала, инвестиционных преференций, инвестиционных рисков рассматриваемых ТПСЭС.

В работе для оценки состояния ТПСЭС функционал обобщенного критерия предлагается получать на основе процедуры построения ранжированного ряда, т.е. процедуры ранжирования с использованием указанных выше критериев.

Ранжирование – это процедура упорядочения, разбиения множества объектов в порядке предпочтения, с введением между ними некоторого порядка «лучше-хуже» [5, 6]. На основе своих знаний и опыта эксперт располагает объекты в порядке предпочтения, руководясь одним или несколькими показателями сравнения. В зависимости от вида отношений между объектами возможны различные варианты упорядочения [7].

Пусть среди объектов нет одинаковых по сравниваемым показателям, т.е. нет эквивалентных объектов. В этом случае между объектами существует только отношение строгого порядка, обладающее свойствами несимметричности (если $O_i \succ O_j$, то $O_j \not\succ O_i$), транзитивности (если $O_i \succ O_j, O_j \succ O_k$, то $O_i \succ O_k$) и связности (для любых двух объектов – либо $O_i \succ O_j$, либо $O_j \succ O_i$).

Из свойства связности вытекает совершенная (линейная) упорядоченность объектов. В результате сравнения всех объектов по отношению строгого порядка эксперт составляет упорядоченную последовательность

$$O_1 \succ O_2 \succ \ldots \succ O_n, \qquad (4)$$

где объект с первым номером – наиболее предпочтительный из всех, объект со вторым номером менее предпочтителен, но предпочтительнее всех остальных и т.д.

Полученная система с отношениями строгого порядка $\langle O, \succ \rangle$ образует серию. На множестве объектов серии можно построить весовую функцию, которая будет биекцией. Тогда отношение порядка " $\succ$ " сводится к отношению «больше чем» или «меньше чем» [6]. Это означает, что существует такое числовое представление $f(O_i)$, что последовательности (4) соответствует последовательность чисел

$$f(O_1) > f(O_2) > \cdots > f(O_n), \qquad (5)$$

или обратная последовательность:

$$f(O_1) < f(O_2) < \cdots < f(O_n)$$

Соответствие вышеописанных последовательностей (4) и (5), т.е. их изоморфизм или гомоморфизм,

можно определить, выбирая любые числовые представления. Единственным ограничением является монотонность преобразования. Следовательно, допустимое преобразование при переходе от одного числового представления к другому должно обладать свойством монотонности. Но таким свойством обладает шкала порядков. Таким образом, ранжирование объектов можно производить в шкале порядков.

В практике экспертного ранжирования чаще всего применяется числовое представление последовательности (4) в виде натуральных чисел

$$r_1 = f(O_1) = 1; r_2 = f(O_2) = 2; \dots; r_n = f(O_n) = n;$$

Числа $r_1, r_2, \dots, r_n$ называются рангами. Наиболее предпочтительному объекту присваивается первый ранг, второму – второй и т.д.

Кроме отношения строгого порядка между некоторыми объектами возможно отношение эквивалентности.

В результате ранжирования при наличии отношений порядка и эквивалентности эксперт составляет упорядоченную последовательность, в которой некоторые объекты могут быть эквивалентными. Например, упорядочение может иметь вид

$$O_1 \succ O_2 \succ O_3 \sim O_4 \sim O_5 \succ \dots \succ O_{n-1} \sim O_n.$$

В этой последовательности объекты O_3, O_4, O_5 эквивалентны между собой, а объекты O_{n-1}, O_n - между собой.

Ранжирование всегда производится в шкале порядка, независимо от того, имеются среди объектов эквивалентные или нет.

В практике ранжирования объектов, между которыми допускаются отношения как строгого порядка, так и эквивалентности, числовое представление выбирается следующим образом. Наиболее предпочтительному объекту присваивается ранг, равный единице, второму – второй ранг и т.д. Для эквивалентных объектов удобно назначать одинаковые ранги, равные среднему арифметическому значению рангов, присваиваемых одинаковым объектам. Такие ранги называют связанными.

Удобство использования связанных рангов заключается в том, что сумма рангов объектов равна сумме натуральных чисел от единицы до n. При этом любые комбинации связанных рангов не изменяют эту сумму. Это обстоятельство существенно упрощает обработку результатов ранжирования при групповой экспертной оценке.

При групповой экспертной оценке каждый -й эксперт присваивает каждому объекту j ранг r_{ij}. В результате проведения экспертного оценивания получается матрица рангов $\|r_{ij}\|$ размерности $n \times m$, где n – число объектов $(j = 1, \dots, n)$; m – число экспертов $(i = 1, \dots, m)$.

Ранги объектов определяют только порядок их расположения по показателям сравнения. Ранги как числа не дают возможности сделать вывод о том, на сколько, или во сколько предпочтительнее один объект другого. Если, например, ранг объекта равен единице, то не следует делать вывод, что этот объект в три раза предпочтительнее объекта, имеющего ранг равный трем.

Достоинством ранжирования, как метода измерения, является простота осуществления процедур, недостатком – практическая невозможность упорядочения большого числа объектов. Как показывает опыт, при числе объектов больше 15-20 эксперты затрудняются в построении ранжированного ряда. Это объясняется тем, что в процессе ранжирования эксперт должен установить взаимосвязь между всеми объектами, рассматривая их как единую совокупность. При увеличении числа объектов количество связей между ними растет. Удержание и анализ большой совокупности взаимосвязей между объектами ограничивается психологическими возможностями человека. Поэтому при ранжировании большого числа объектов эксперты могут допускать ошибки.

Задача выбора наилучшего варианта оценки состояния ТПСЭС методом ранжирования решается путем последовательной реализации следующих шагов:

- формирование вариантов реализации стратегий оценки состояний,
- выбор показателей и метрики оценок вариантов,
- формирование локальных критериев оценивания вариантов,
- формирование обобщенного критерия оценки,
- ранжирование вариантов по обобщенному критерию,

– выбор предпочтительного варианта (или множества наилучших).

В рамках решения указанных задач основным этапом принятия решения является возможность произвести оценку вариантов состояний и на этой основе установить порядок отношений (ранжирование).

Методологической основой решения данных задач является общая теория полезности. Если два решения $x_1, x_2 \in X$ соотносятся между собой как $x_1 \succ x_2$, то их функции полезности соотносятся как $P(x_1) > P(x_2)$.

Вид функции полезности принятого решения зависит от состава частных критериев вариантов для $I_{\text{ур}}$ или $I_{\text{инв}}$ и множества коэффициентов значимости этих критериев для лица, принимающего решения (ЛПР). Функцию полезности можно определить следующим образом:

$$P(x) = Q[a_i, I_i(x)], i = \overline{1,n},$$

где a_i – коэффициент изоморфизма i-го частного критерия $I_i(x)$; Q – оператор преобразования.

При этом используются две формы представления функции полезности [8, 9]:

– аддитивная

$$P(x) = \sum_{i=1}^{n} a_i I_i(x), \qquad (6)$$

– мультипликативная

$$P(x) = \prod_{i=1}^{n} a_i I_i(x), \qquad (7)$$

где a_i – весовые коэффициенты, $a_i \in [0,1], \sum_{i=1}^{n} a_i = 1$.

Поскольку частные критерии имеют различную размерность и несравнимы между собой, они должны быть нормированы, то есть приведены к изоморфному виду. Тогда в функции полезности (6) или (7) используются нормированные значения частных критериев:

$$m[I_i(x)] = \frac{I_i(x) - I_{i-}}{I_{i-} - I_{i+}},$$

где $I_i(x), I_{i-}, I_{i+}$ – соответственно текущее, наихудшее и наилучшее значения частного критерия.

Аддитивная функция полезности будет иметь вид:

$$P(x) = \sum_{i=1}^{n} a_i m[I_i(x)].$$

В этом случае окончательный выбор варианта решения существенно зависит от величин коэффициентов значимости a_i, которые определяются ЛПР или экспертами. При этом форма представления информации о значимости критериев может быть различной – детерминированной, вероятностной или в виде нечетких (лингвистических) переменных.

Распространенной ситуацией при оценке и выборе вариантов является задача, при которой эксперты не могут определить точные количественные значения весовых коэффициентов a_i, но способны предоставить качественную информацию относительно взаимной важности оцениваемых критериев:

$$I_1(x) \succ I_2(x) \succ \cdots \succ I_n(x).$$

В такой ситуации предлагается метод последовательного перебора критериев в порядке их важности.

1. Из исходного множества вариантов X выделяется подмножество $X_1^\circ = \{x_i^\circ\}$ решений, эквивалентных по наиболее важному критерию. Для этого решается следующая однокритериальная оптимизационная задача:

$$x_1^\circ = \arg\max_{x \in X} P(m[I_i(x)]),$$

или

$$x_1^\circ = \arg\min_{x \in X} \bar{P}\,(m[I_i(x)]),$$

где $\bar{P}(m[I_i(x)])$ – функция потери полезности,

$$\bar{P}(m[I_i(x)]) = 1 - P(m[I_i(x)]).$$

2. В случае, если X_1° состоит более чем из одного варианта, решается задача выбора эквивалентных решений из множества X_1° по второму по важности критерию. В общем случае, оптимизационная задача будет иметь вид:

$$x_1^\circ = \arg\max_{x \in X_{i-1}^\circ} P(m[I_i(x)]), i = \overline{1,n};$$

$$X_{i-1}^\circ = X - X_i^\circ$$

$$x_1^\circ = \arg\min_{x \in X_{i-1}^\circ} \bar{P}\,(m[I_i(x)])\; i = \overline{1,n}.$$

3. Перебор критериев продолжается, пока не будет получено единственное решение или не закончатся критерии. Полученное решение принимается в качестве наилучшего.

4. Для ранжирования всего набора вариантов полученное наилучшее решение исключается из X и на оставшихся решениях повторяется описанная выше процедура.

Для случая, когда ЛПР не располагает ни качественной, ни количественной информацией о коэффициентах a_i можно принять условие равенства или квазиравенства важности критериев $a_i = \frac{1}{n}, i = \overline{1,n}$, и модель оценки обобщенной полезности альтернативы $x \in X$ будет иметь вид:

$$\Phi(x) = \frac{1}{n}\left\{\sum_{i=1}^{n} P(m[I_i(x)])\right\}, i = \overline{1,n},$$

а принцип оптимальности будет:

$$x_1^\circ = \arg\max_{x\in X}\frac{1}{n}\left\{\sum_{i=1}^{n} P(m[I_i(x)])\right\}, i = \overline{1,n},$$

или

$$x_1^\circ = \arg\min_{x\in X}\frac{1}{n}\left\{\sum_{i=1}^{n} P(m[I_i(x)])\right\} i = \overline{1,n}.$$

В практике анализа также встречаются случаи, когда при оценке вариантов для некоторых критериев весовые коэффициенты известны, а для остальных оценка предпочтительности отсутствуют. В этом случае предлагается рассматривать два множества критериев: множество критериев R с известными весовыми коэффициентами a_i и множество Q критериев, для которых a_i не известно.

Мощности множеств равны соответственно r и q. Тогда эффективное решение $x^\circ \in X$ можно определить математической моделью вида:

$$x^\circ = \arg\max_{x\in X}\left\{\sum_{\substack{i=1\\ K_i(x)\in R}}^{r} a_i P(m[I_i(x)]) + \frac{1}{q}\left[1-\sum_{i=1}^{r} a_i\right]\sum_{\substack{j=1\\ K_j(x)\in Q}}^{q} P(m[I_i(x)])\right\} \quad (8)$$

В практике принятия решений часто используется детерминированная оценка коэффициентов значимости a_i. Это во многом объясняется тем, что в ходе планирования стратегии развития детально прорабатываются вопросы задания приоритетов целей и их параметров.

В этом случае обобщенно принцип оптимальности будет представлен выражением:

$$x^\circ = \arg\max_{x\in X}\sum_{i=1}^{n} a_i m[I_i(x)], i = \overline{1,n}, \sum_{i=1}^{n} a_i = 1. \quad (9)$$

Однако, экспертам, участвующим в проведении оценивания, проще выражать свое мнение относительно важности того или иного критерия не в виде точечной оценки, а в виде интервалов $[a_{imin}, a_{imax}]$, при этом

$$\sum_{i=1}^{n} a_{imin} \neq 1, \sum_{i=1}^{n} a_{imax} \neq 1.$$

Тогда для решения задачи выполняется двухуровневая процедура.

Разработанная модель может использоваться для решения задачи обеспечения устойчивого развития любого класса ТПСЭС, что в свою очередь является условием оценки жизнедеятельности общества, его стабильности и устойчивости, на основании которых могут формироваться условия национальной безопасности государства [10, 11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе решена задача разработки математической модели оценивания состояния территориально-производственных социально-экономических систем. В качестве интегральных характеристик ТПСЭС приняты две важнейшие характеристики: устойчивость развития и инвестиционная привлекательность объекта. Функционал обобщенного критерия получают на основе процедуры построения ранжированного ряда, т.е. процедуры ранжирования с использованием указанных выше критериев.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кучеренко Е.І. Теоретичні основи та технології оцінки технічного стану просторово-розподілених об'єктів: монографія /Е.І. Кучеренко, Д.Є. Краснокутський, І.С. Глущенкова; Харьковська національна

академія міського господарства, Харьковський національний університет радіоелектроніки – Х.: ХНАГ, ХНУРЕ, 2011. – 167 с.
2. Месарович М. Теория иерархических многоуровневых систем /М. Месарович, Д. Мако, И. Такахара. – М.: Мир, 1976. – 344 с.
3. Дмитриев А.К. Основы теории построения и контроля сложных систем /А.К. Дмитриев, П.А. Мальцев. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1988. – 192 с.
4. Глушков В.М. Моделирование развивающихся систем /В.М. Глушков, В.В. Иванов, В.М. Яценко. – М.: Наука, 1983. – 350 с.
5. Орлов А.И. Экспертные оценки /А.И. Орлов //Заводская лаборатория. – 1996. – Т.62, №1 – С.54-60.
6. Крючковский В.В. Интроспективный анализ. Методы и средства экспертного оценивания: монография /В.В. Крючковский, Э.Г. Петров, Н.А. Соколова, В.Е. Ходаков – Херсон: Гринь Д.С., 2011. – 168 с.
7. Коваленко И.И. Экспертные оценки в управлении инновационными проектами /И.И. Коваленко, С.В. Драган, М.А. Рыхальский. – Николаев: НУК, 2007. – 168 с.
8. Петров Э.Г. Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах /Э.Г. Петров, М.В. Новожилова, И.В. Гребенник, Н.А. Соколова. – Херсон: Олди-плюс, 2003. – 380 с.
9. Петров К.Э. Компараторная структурно-параметрическая идентификация моделей скалярного многофакторного оценивания /К.Э. Петров, В.В. Крючковский. – Херсон: Олди-плюс, 2009. – 294 с.
10. Волынский Г.В. О факторах, определяющих инвестиционный климат (инвестиционную привлекательность) /Г.В. Волынский, Ю.И. Горбачева //Бизнес-Информ. – 2007. – №7. – С.45-46.
11. Бланк И.А. Управление инвестициями предприятия /И.А. Бланк. – Ника-центр, 2003. – 480 с.

НЕЧІТКІ РЕГУЛЯТОРИ В СИСТЕМАХ КЕРУВАННЯ РЕАКТОРАМИ БАГАТОКОНТУРНИХ ПІРОЛІЗНИХ УСТАНОВОК

УДК 681.5

КОНДРАТЕНКО Юрій Пантелійович
д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем
Чорноморського державного університету ім. П.Могили.
Наукові інтереси: інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень, інформаційні технології, системи автоматичного керування, комп'ютерні системи та компоненти, нечітка логіка.
e-mail: y_kondrat2002@yahoo.com; y_kondratenko@rambler.ru

КОЗЛОВ Олексій Валерійович
аспірант кафедри комп'ютеризованих систем управління
Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова.
Наукові інтереси: автоматизація процесів керування, інформаційні технології, інтелектуальні регулятори.
e-mail: kozlov_ov@ukr.net; oleksiy.kozlov@nuos.edu.ua

ВСТУП

Керування піролізними установками та їх реакторами є однією з складних і важливих задач автоматизації теплоенергетичних технологічних процесів і технологічних піролізних комплексів. Зокрема, при проектуванні систем автоматичного керування (САК) температурою нагріву реакторів багатоконтурної піролізної установки (БПУ) необхідно враховувати, що температура реактора БПУ безперервно змінюється під дією збурювальних факторів (теплообмін реактора з багатоконтурною циркуляційною системою (БЦС) і зовнішнім середовищем, вплив фізичних та хімічних процесів, що проходять всередині реактора та в БЦС та ін.). Система керування температурою повинна компенсувати впливи збурювальних факторів таким чином, щоб забезпечити постійне значення температури нагріву реактора, що відповідає усталеному режиму роботи БПУ [1]. Оскільки значення збурювальних впливів постійно змінюються, то система керування температурою повинна забезпечувати регулювання потужності нагрівального пристрою реактора БПУ.

Аналіз алгоритмів та схемотехнічних рішень для проектування і реалізації систем керування температурою нагріву реактора БПУ показує доцільність використання принципів нечіткого управління, що спираються на теорію нечітких множин та нечітку логіку [2, 3, 4]. Системи керування, що базуються на нечіткій логіці, розроблені й успішно впроваджені в таких областях, як: керування технологічними процесами, керування транспортом, медична діагностика, технічна діагностика, фінансовий менеджмент, біржове прогнозування, розпізнавання образів та ін. [5, 6, 7]. Так, в ряді моделей кондиціонерів концерну Mitsubishi Heavy Industries для створення найбільш сприятливого клімату використовується спосіб, який отримав назву «нейротехнологія та нечітка логіка» (Neuro&Fuzzylogic) [8]. Іншим прикладом використання нечіткої логіки є система керування світлофором [9], в якій вхідні та вихідні сигнали (кількість машин, середня швидкість на вулиці, середня відстань до перехрестя та час горіння зеленого світла) описуються нечіткими термами. Відомі також нечітка система керування автономною фотовітреенергетичною системою (ФВЕС) [10], модель перевернутого маят-

ника [11], нечіткі контролери [12] та багато інших приладів та систем, що використовують нечітку логіку.

Метою даної статі є розробка системи автоматичного керування температурою нагріву реактора багатоконтурної піролізної установки на базі нечіткої логіки та проведення аналізу показників якості систем управління, синтезованих на основі нечітких та традиційного ПД-регуляторів.

СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НАГРІВУ РЕАКТОРА БПУ

Функціональна схема системи керування температурою нагріву реактора БПУ представлена на рис. 1. Задане значення температури нагріву реактора $T_{ЗР}$ встановлюється на задавальному пристрої ЗП. За допомогою суматора сигнал з задавального пристрою $u_{ЗП}$ порівнюється з сигналом $u_{ДТ}$ від датчика температури ДТ і при цьому обчислюється помилка керування ε. В свою чергу сигнал $u_{ДТ}$ відповідає дійсному значенню температури нагріву реактора $T_{ДР}$. Регулятор температури РТ виробляє керувальний сигнал $u_{РТ}$, який подається на лінійний регулятор витрати газу ЛРВ. ЛРВ, в свою чергу, являє собою газовий вентиль з сервоприводом постійного струму і має лінійну характеристику залежності витрати газу від вхідної напруги. На вхід ЛРВ подається сигнал постійної напруги (від 0 до 10 В), якому відповідає значення витрати газу $Q_Г$, що подається на газовий пальник ГП. Відповідне значення потужності $P_{ГП}$ газового пальника забезпечує нагрівання реактора, що функціонує в умовах дії збурення $f(t)$.

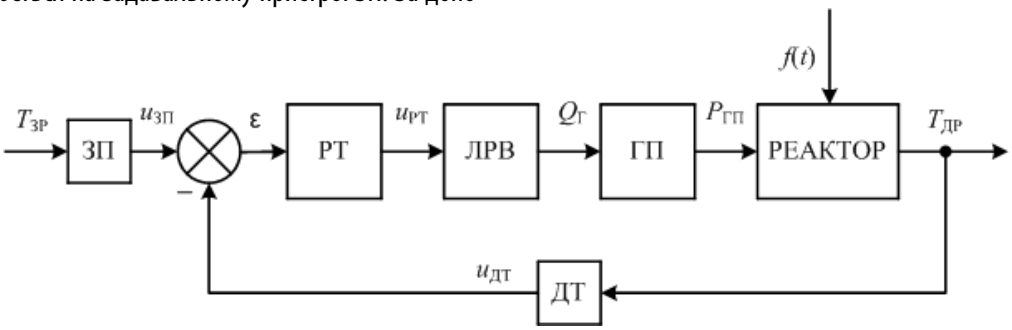


Рисунок 1 – Функціональна схема регулювання температури нагріву реактора

При відхиленні дійсного значення температури нагріву реактора ТДР від заданого значення ТЗР регулятор температури (згідно з законом керування) виробляє керувальний сигнал uРТ, що змінює витрати газу і відповідну потужність газового пальника, які забезпечують відповідне нагрівання реактора.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НАГРІВУ РЕАКТОРА БПУ

При моделюванні реактора БПУ, вхідним керуючим впливом якого є підведена потужність нагрівальної установки, а вихідним сигналом – температура нагріву, можна використати типову передаточну функцію теплоенергетичних об'єктів керування, що складається з пропорційної ланки, аперіодичної ланки, ланки запізнення та інерційної ланки *n*-го порядку [13]

$$W_{ОК}(p)=\frac{U_{вих}(p)}{U_{вх}(p)}=\frac{ke^{-\tau p}}{(T_1p+1)(T_2p+1)^n}, \qquad (1)$$

де $W_{ОК}(p)$ – передаточна функція об'єкта керування; $U_{вих}(p)$ – зображення керованої координати $U_{вих}(t)$ (температури нагріву реактора); $U_{вх}(p)$ – зображення керувального впливу $U_{вх}(t)$ (теплової потужності, що виділяє пальник); k – коефіцієнт підсилення; τ – час запізнення; T_1, T_2 – сталі часу аперіодичної та інерційної ланок, відповідно.

Перехідна характеристика $h(t)$ та інші динамічні характеристики узагальненого теплоенергетичного об'єкту [13, 14, 15] з передаточною функцією (1) наведені на рис. 2, де прийняті наступні позначення: $h(t)$ – перехідна характеристика об'єкта керування, яка отримана експериментальним шляхом; $h"(t)$ – характер другої похідної перехідної характеристики $h(t)$; $h(t_п)$ – значення перехідної характеристики в момент перегину; $h_{уст}$ – усталене значення перехідної характеристи-

ки; T_0 і τ_0 – стала часу і запізнення, що визначаються з графіку експериментальної перехідної характеристики.

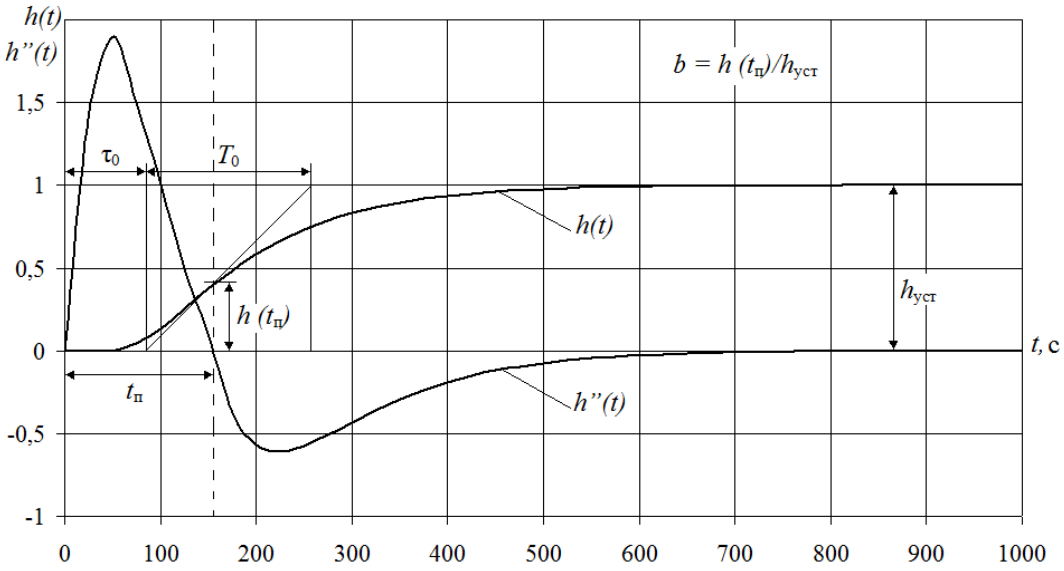


Рисунок 2 – Перехідна характеристика узагальненого теплоенергетичного об'єкта

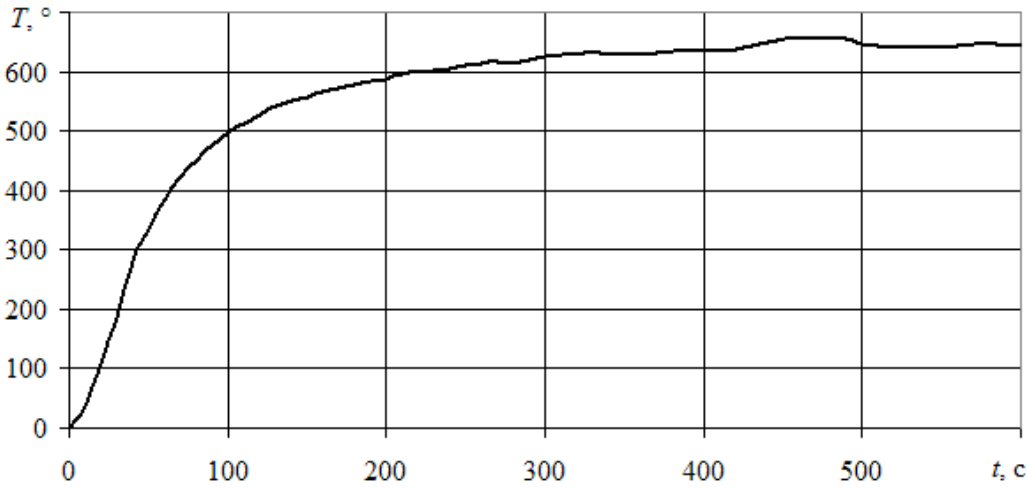


Рисунок 3 – Експериментальна перехідна характеристика нагріву реактора БПУ

Задача синтезу математичної моделі реактора БПУ зводиться до ідентифікації параметрів передаточної функції (1) і порядку інерційної ланки *n*.

Розглянемо алгоритм структурно-параметричної ідентифікації вищенаведеної математичної моделі з застосуванням методів нелінійного програмування, зокрема градієнтних методів оптимізації [16], а також на основі ідентифікації структури і параметрів складних нестаціонарних об'єктів керування, розглянутих в [14, 17].

Постановка задачі нелінійного програмування припускає вибір цільової функції, визначення множини параметрів, які оптимізуються, та множини обмежень, а також формування первинної гіпотези про оптимальні значення параметрів.

В якості цільової функції пропонується використання квадратичного інтегрального функціонала відхилення експериментальної передаточної функції $h(t)$ від ідентифікованої апроксимуючої передаточної функції $h_a(t)$

$$I\left[h_a(t), h(t)\right] = \int_0^{T_{\max}} \left(h_a(t) - h(t)\right)^2 dt \,. \qquad (2)$$

При цьому передаточна функція $h_a(t)$ моделі реактора однозначно визначається параметрами і структурою апроксимуючої передаточної функції (1).

Так як показник ступеня n в рівнянні (1) може приймати тільки цілі невід'ємні значення, то при реалізації алгоритму нелінійної оптимізації недоцільним є включення його в множину параметрів, що оптимізуються. Зокрема визначення значення n можливо шляхом повного перебору множини його допустимих значень $n \in \{1,2,3,...,n_{max}\}$, де n_{max} – обмеження порядку аперіодичної ланки, n_{max}=8. Таким чином, для алгоритму нелінійної оптимізації множина параметрів, що оптимізуються зводиться до вигляду: $\mathbf{P} = \{T_1, T_2, \tau\}$. Обмеженням для процесу нелінійної оптимізації є комплекс умов [7, 8] з додатково накладеними вимогами додатності сталих часу T_1, T_2 і невід'ємності запізнення τ: $T_1 > 0;\ T_2 > 0;\ \tau \geq 0$. Первинну гіпотезу $\mathbf{P}^0 = \{T_1^0, T_2^0, \tau^0\}$ пропонується формулювати на основі ідентифікації параметрів передаточної функції вигляду (1) при $n = 1$.

На основі вищенаведеного підходу та експериментальної перехідної характеристики нагріву реактора БПУ (рис. 3) здійснимо ідентифікацію параметрів передаточної функції (1). Експериментальна перехідна характеристика нагріву отримана для реактора об'ємом 14 літрів при потужності газового пальника 17 кВт.

Після проведення ідентифікації згідно з вищенаведеним підходом передаточна функція реактора БПУ має наступний вигляд

$$W_R(p) = \frac{k_R e^{-\tau_R p}}{(T_{R1}p+1)(T_{R2}p+1)^2}, \qquad (3)$$

де k_R=0,038; T_{R1}=45 с; T_{R2}=12,75 с; $\tau_R = 0$; n=2.

Газовий пальник, що нагріває реактор, має передаточну функцію інерційної ланки першого порядку

$$W_{ГП}(p) = \frac{k_{ГП}}{T_{ГП}p+1}, \qquad (4)$$

де $k_{ГП}$ – коефіцієнт підсилення газового пальника, який визначається нижчою питомою теплотою згорання $Q_н^р$ газу, що використовується в якості палива, $k_{ГП} = 85,6 \cdot 10^6$, так як $Q_н^р$ зрідженого газу дорівнює 85,6 МДж/м^3; $T_{ГП}$ – стала часу газового пальника, що визначається швидкістю займання газу, $T_{ГП}$ = 0,01 с.

Лінійний регулятор витрати газу має наступну передаточну функцію

$$W_{ЛРВ}(p) = \frac{k_{ЛРВ}}{T_{ЛРВ}^2 p^2 + 2\zeta T_{ЛРВ} p + 1}, \qquad (5)$$

де $k_{ЛРВ}$, $T_{ЛРВ}$, ζ – коефіцієнт підсилення, стала часу та коефіцієнт демпфування лінійного регулятора витрати, що визначаються параметрами сервопривода та газового вентиля, які входять до складу лінійного регулятора витрати; $k_{ЛРВ} = 3,07 \cdot 10^{-5}$; $T_{ЛРВ}$ = 1 с; ζ=0,5.

Задавальний пристрій та датчик температури вважаються безінерційними ланками з відповідними передаточними функціями

$$W_{ЗП}(p) = k_{ЗП}; \qquad (6)$$

$$W_{ДТ}(p) = k_{ДТ}, \qquad (7)$$

де $k_{ЗП}$ та $k_{ДТ}$ – коефіцієнти підсилення задавального пристрою та датчика температури відповідно; $k_{ЗП}$ = $k_{ДТ}$ = 0,01.

Структурна схема системи керування наведена на рис.4, де збурювальний вплив $f(t)$ представлений у вигляді ступінчатих сигналів різної ширини та амплітуди.

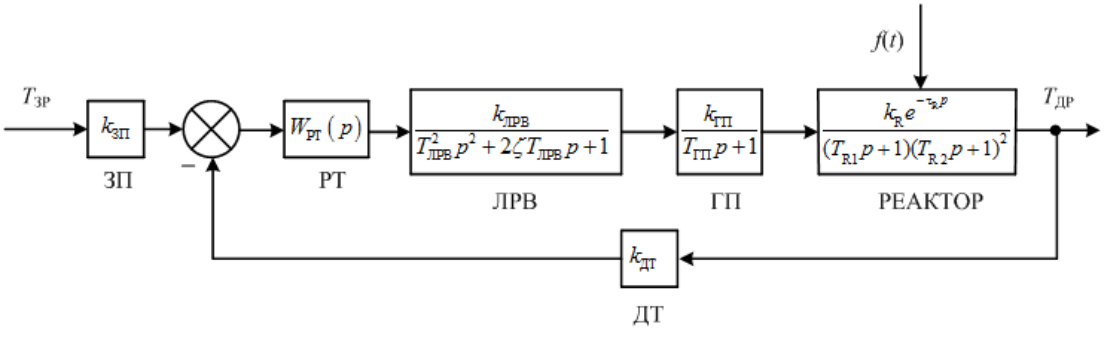


Рисунок 4 – Структура математичної моделі системи керування

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ НАГРІВУ РЕАКТОРА З НЕЧІТКИМИ ПД-РЕГУЛЯТОРАМИ ТИПУ СУГЕНО ТА МАМДАНІ

На рис. 5 представлена функціональна схема системи керування температурою нагріву реактора БПУ з нечітким ПД-регулятором. На вхід нечіткого регулятора подається похибка ε сигналу керування та похідна від похибки $\frac{d\varepsilon}{dt}$, тобто швидкість її зміни.

На виході формується сигнал керування $u_{РТ}$, який надходить на вхід виконавчого механізму.

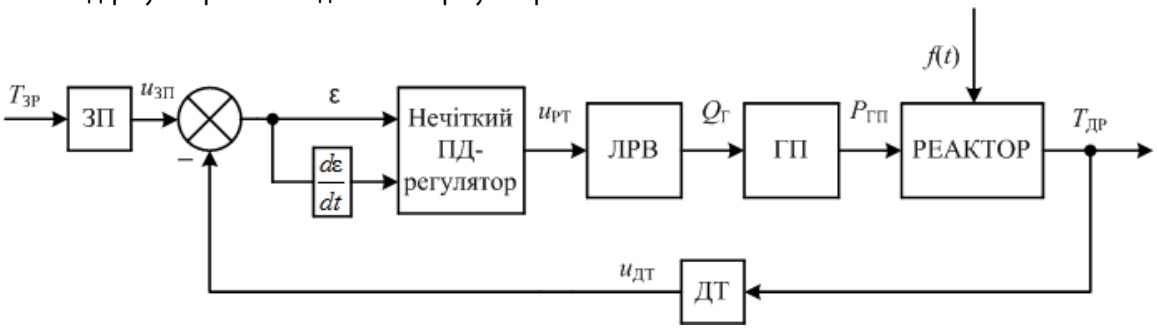


Рисунок 5 – Функціональна схема САК з нечітким ПД-регулятором

РОЗГЛЯНЕМО БІЛЬШ ДЕТАЛЬНО ПРОЦЕДУРУ СИНТЕЗУ НЕЧІТКОГО ПД-РЕГУЛЯТОРА ТИПУ МАМДАНІ.

Основними етапами нечіткого логічного висновку Мамдані типу є: фаззифікація, агрегація, активізація, акумуляція та дефазифікація [18, 19].

На етапі фазифікації для кожної вхідної змінної визначається відповідне їй лінгвістичне значення та ступінь належності відповідній нечіткій множині [4]. Для першої вхідної змінної ε та для другої вхідної змінної $\frac{d\varepsilon}{dt}$ обрано по 5 лінгвістичних термів, а для вихідної змінної U – 7 лінгвістичних термів. Параметри лінгвістичних термів представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Терм	Тип функції належності	Діапазон значень
Для вхідної змінної ε		
BN – велика від'ємна	Трикутна	[-15 –10 -5]
SN – мала від'ємна	Трикутна	[-10 –5 0]
Z - нульова	Трикутна	[-5 0 5]
SP – мала додатна	Трикутна	[0 5 10]
BP – велика додатна	Трикутна	[5 10 15]
Для вхідної змінної *dε/dt*		
BN – велика від'ємна	Трикутна	[-0,75 –0,5 -0,25]
SN – мала від'ємна	Трикутна	[-0,5 –0,25 0]
Z - нульова	Трикутна	[-0,25 0 0,25]
SP – мала додатна	Трикутна	[0 0,25 0,5]
BP – велика додатна	Трикутна	[0,25 0,5 0,75]
Для вихідної змінної *U*		
VBN –дуже велика від'ємна	Трикутна	[-2 0 2]
BN - велика від'ємна	Трикутна	[0 2 4]
SN – мала від'ємна	Трикутна	[2 4 6]
Z – нульова	Трикутна	[4 6 8]
SP – мала додатна	Трикутна	[6 7,5 9]
BP – велика додатна	Трикутна	[8 9 10]
VBP – дуже велика додатна	Трикутна	[9 10 11]

Для реалізації нечіткого логічного висновку сформуємо базу знань. Правила бази знань за алгоритмом Мамдані являють собою лінгвістичні твердження виду:

$$\text{ЯКЩО } "\varepsilon = x" \text{ І } "\frac{d\varepsilon}{dt} = y" \text{ ТОДІ } "U = z",$$

де x, y, z – відповідні значення лінгвістичних термів.

Для даного випадку база знань складається з 25 правил, які відповідають всім комбінаціям двох вхідних нечітких змінних. База знань представлена в табл. 2.

Таблиця 2

		Швидкість зміни похибки, *dε/dt*				
		BN	**SN**	**Z**	**SP**	**BP**
Похибка, ε	BN	VBN	VBN	VBN	BN	SN
	SN	VBN	BN	BN	SN	SP
	Z	SN	SN	Z	SP	SP
	SP	SN	SP	BP	BP	VBP
	BP	SP	BP	VBP	VBP	VBP

Характеристична поверхня даного регулятора зображена на рис. 6.

На наступному етапі (агрегація) визначаються ступені істинності для кожного з правил системи нечіткого логічного висновку, а на етапі активізації реалізується процедура знаходження ступенів істинності кожного з підзаключень правил нечітких продукцій.

Подальшим етапом нечіткого логічного висновку є акумуляція, тобто процедура знаходження функцій належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних [18]. Метою акумуляції є об'єднання всіх вихідних лінгвістичних термів з відповідними ступенями істинності кожного з правил для отримання функції належності вихідної змінної. Таким чином, на етапі акумуляції формується результуюча функція належності для нечіткого рішення, яке потрібно перетворити в чітке значення вихідного сигналу. Процедура знаходження чіткого числового значення вихідного сигналу $u_{\text{РТ}}$ являє собою процедуру дефазифікації.

Існує кілька методів дефазифікації: метод центру тяжіння, метод центру площини, метод лівого модального значення, метод правого модального значення та ін. [2, 5]. Для даного випадку обираємо метод центру тяжіння, згідно якого значення вихідного сигналу розраховується за формулою (8)

$$u_{\text{РТ}} = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_i \cdot \mu(u_i)}{\sum_{i=1}^{n} \mu(u_i)}, \qquad (8)$$

де n – кількість значень вихідної лінгвістичної змінної; u_i – i-те значення відповідної вихідної лінгвістичної змінної; $\mu(u_i)$ – значення результуючої функції належності для відповідного значення u_i.

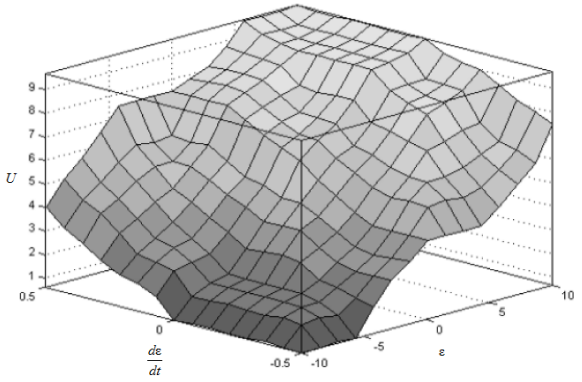


Рисунок 6 – Характеристична поверхня нечіткого ПД-регулятора типу Мамдані

РОЗГЛЯНЕМО БІЛЬШ ДЕТАЛЬНО ПРОЦЕДУРУ СИНТЕЗУ НЕЧІТКОГО ПД-РЕГУЛЯТОРА ТИПУ СУГЕНО

Для регулятора Сугено типу на етапі фаззифікації для першої вхідної змінної ε та другої вхідної змінної $\frac{d\varepsilon}{dt}$ обрано такі ж самі лінгвістичні терми, як і для регулятора Мамдані (табл. 1).

Для реалізації нечіткого логічного висновку формуємо базу знань. Правила бази знань нечіткого ПД-регулятора за алгоритмом Сугено являють собою лінгвістичні твердження виду:

$$\text{ЯКЩО } "\varepsilon = x" \text{ І } "\frac{d\varepsilon}{dt} = y" \text{ ТОДІ } "u_{\text{РТ}} = k_{\text{П}}\varepsilon + k_{\text{Д}}\frac{d\varepsilon}{dt}".$$

Частина правила ТОДІ представляє собою в даному випадку лінійну комбінацію входів. Кожна лінійна комбінація визначається вектором коефіцієнтів $mf_i = \left[k_{\text{П}i}, k_{\text{Д}i}\right]$, де i – номер правила, що приймає значення від 1 до 25; $k_{\text{П}}$ – коефіцієнт пропорційності; $k_{\text{Д}}$ – диференційний коефіцієнт. В процесі проектування нечіткого ПД-регулятора постає завдання визначен-

ня всіх цих коефіцієнтів шляхом навчання Сугено-регулятора.

В табл. 3 зведено значення всіх знайдених в процесі навчання регулятора коефіцієнтів вихідного сигналу.

Таблиця 3

№ правил	Значення коефіцієнтів									
	$k_П$					$k_Д$				
1-5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6-10	0	-1,11	2,4	-3,97	-5,23	0	0	-50	-68	-74,5
11-15	-5,6	-6,29	14	14,5	14,9	-100	-120	250	390	380
16-20	15,2	15,6	16,08	16,76	43.16	368	358	353,5	340,5	320
21-25	17,2	17,54	18,4	19,2	20	312	307,5	300,5	295	280

Характеристична поверхня даного регулятора типу Сугено зображена на рис. 7.

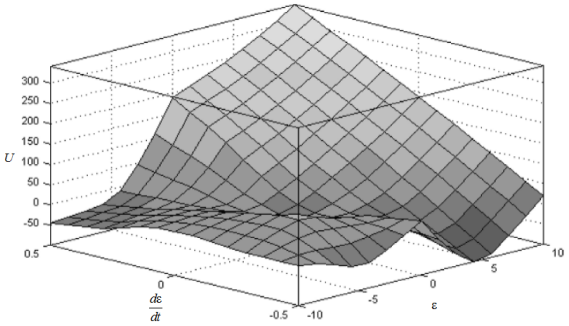


Рисунок 7 – Характеристична поверхня нечіткого ПД-регулятора типу Сугено

Для процедури дефазифікації у випадку Сугено-регулятора також обираємо метод центру тяжіння.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ З ТРАДИЦІЙНИМ ТА НЕЧІТКИМИ ПД-РЕГУЛЯТОРАМИ

Передаточна функція традиційного ПД-регулятора має вигляд

$$W(p) = k_П + k_Д p, \quad (8)$$

де $k_П$ та $k_Д$ – коефіцієнти, що настроюються; $p = \frac{d}{dt}$. Для моделювання обираємо значення коефіцієнтів, що були знайдені в результаті параметричної оптимізації: $k_П = 13,6$; $k_Д = 400$.

В табл. 4 представлений порівняльний аналіз показників якості систем керування з традиційним та нечіткими ПД-регуляторами для різних значень вхідних задавальних впливів ($T_{ЗР} = 550, 600, 650^0\,C$), де позначено: σ – перерегулювання, $\sigma = \frac{T_{MAX} - T_{ДР}}{T_{ДР}} \cdot 100\%$; $t_р$ – час регулювання; Δ – статична похибка, $\Delta = \frac{T_{ЗР} - T_{ДР}}{T_{ЗР}} \cdot 100\%$; μ – коливальність (число переходів через значення $T_{ДР}$ за час *t*).

На рис. 8 представлені перехідні процеси систем управління при нульових початкових умовах для $T_{ЗР} = 600^0\,C$ без збурень.

Таблиця 4

Показники якості	Значення показників якості САК								
	ПД-регулятор			Регулятор типу Мамдані			Регулятор типу Сугено		
	Значення вхідного впливу, $T_{ЗР}$, °С								
	550	600	650	550	600	650	550	600	650
σ, %	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$t_р$, сек	155	160	165	185	188	192	112	115	117
Δ, %	0,15	0,16	0,165	0,17	0,25	0,3	0	0	0
μ	0	0	0	0	0	0	0	0	0

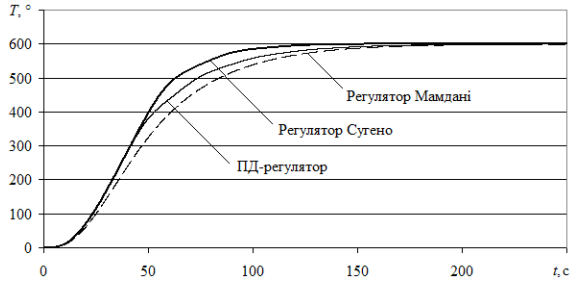


Рисунок 8 – Перехідні процеси при $T_{ЗР} = 600^0\,C$

Найкращі показники якості для даного вхідного впливу має система з нечітким регулятором типу Сугено, а саме: час регулювання $t_р$ складає 115 с, перерегулювання σ дорівнює 0%, коливальність μ та статична похибка Δ дорівнюють 0. Система керування з традиційним ПД-регулятором також має перерегулювання 0%, але час регулювання складає 160 с та статична похибка Δ дорівнює 0,16%. Система керування з регу-

лятором типу Мамдані має гірші показники в порівнянні з попередніми системами, вихідний сигнал даної системи керування має час регулювання 188 с, коливальність та перерегулювання дорівнюють 0, статична похибка 0,25%.

На рис. 9 представлено перехідні процеси систем керування з традиційним та нечіткими ПД-регуляторами типу Мамдані та Сугено при наявності збурень $f(t)$, що носять ступінчатий характер (рис. 10), при нульових початкових умовах для $T_{ЗР} = 600^0\,\mathrm{C}$.

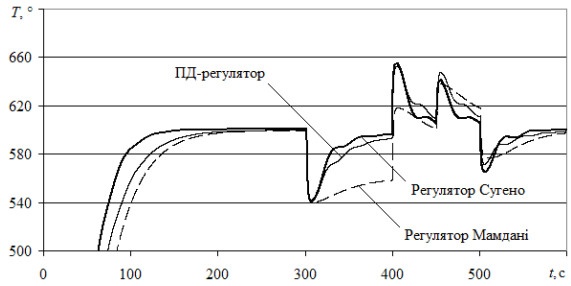


Рис. 9. Перехідні процеси при $T_{ЗР} = 600^0\,\mathrm{C}$ з урахуванням збурень $f(t)$

Відхилення при максимальному збурювальному впливі з амплітудою 60 для систем з традиційним чітким регулятором та з нечітким регулятором Сугено типу становить близько 1,33% та 0,7% від значення вихідного сигналу, тоді як для системи з регулятором типу Мамдані значно більше – 6,7%.

Після проведення моделювання САК в умовах короткочасних ступінчатих збурювальних впливів, можна зробити висновок, що відхилення вихідного сигналу від заданого значення систем керування з чітким регулятором та нечітким регулятором типу Сугено при такому виді збурень незначне і складає лише 0,7 – 1,5% (відповідне значення температури не більше 10 ^{0}C), що з точки зору регулювання температури не має суттєвого впливу на протікання процесів в реакторі БПУ.

Щодо системи керування з нечітким регулятором типу Мамдані, то для неї відхилення вихідного сигналу при короткочасних збурювальних впливах є суттєвим і досягає при максимальному збуренні величиною –60 ^{0}C майже 7%, а це відповідає зниженню приблизно на 40 ^{0}C заданої температури нагріву, що впливає на якість піролізного технологічного процесу.

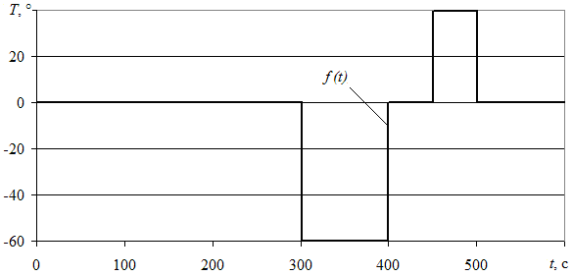


Рисунок 10 – Характер збурювальних впливів $f(t)$, що діють на реактор БПУ

ВИСНОВКИ

В даній статті представлено розробку нечітких ПД-регуляторів типу Мамдані та Сугено для системи керування температурою нагріву реактора БПУ.

В результаті проведених авторами досліджень можна зробити висновок, що для даної системи керування доцільно застосовувати нечіткий регулятор типу Сугено, оскільки система керування з такого виду регулятором має менший час регулювання у порівнянні з системою зі звичайним ПД-регулятором. Застосування нечіткого регулятору типу Мамдані не дало кращих результатів, оскільки параметри даного регулятора не були попередньо оптимізовані так, як параметри традиційного та Сугено типу ПД-регуляторів. Цей факт підтверджує необхідність проведення процедури оптимізації для покращення динамічних властивостей будь-якої системи керування з нечіткими регуляторами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратенко Ю.П., Козлов О.В. Аналіз комплексу задач та координат керування технологічним процесом екопірогенезісу //Технічні вісті. – 2011. – Вип. 1 (33), 2 (34). – С.13-16.
2. Hampel R., Wagenknecht M. and Chaker N. (Eds.). Fuzzy Control: Theory and Practice. Physika-Verlag, Heidelberg, New York, 2000.
3. Zadeh L.A. Fuzzy sets //Information and Control. – 1965. – №8. –P.338-353.
4. Zimmermann H.J. Fuzzy Set Theory and Its Applications. – Boston/Dordrecht/London, Kluwer Academic Publishers, 1992.

5. Герасимов Б.М., Грабовский Г.Г., Рюмшин М.А. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации. – К.: Техніка, 2002. – 140 с.
6. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. – М.: БИНОМ Лаборатория Знаний, 2009. – 798 с.
7. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети. – Винница: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. – 300 с.
8. Передовые технологии в управлении кондиционерами Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. www.ivic.ua/info/interesting/index.html
9. Вовк О.Л. «Исследование трудноформализуемых алгоритмов нечеткого управления в системах управления объектами», автореферат магистерской выпускной работы. – Донецк, 2002, http://masters.donntu.edu.ua/2002/fvti/vovk/diss/index.htm
10. Симанков В.С., Шопин А.В., Бучацкий П.Ю. Методология нечеткого управления автономной фотоветроэнергетической системой //Труды ФОРА. – 1999. – №4.
11. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Системы фуцци-управления. – К.: Техніка, 1997.
12. Захаров В.Н., Ульянов С.В. Нечеткие модели интеллектуальных промышленных регуляторов и систем управления. I. Научно-организационные, технико-экономические и прикладные аспекты //Техническая кибернетика. – 1992. – №5. – С.171-196.
13. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 296 с.
14. Кондратенко Ю.П., Сидоренко С.А., Аль Зобби И.Я.М. Нечеткие системы управления нестационарными объектами с переменными параметрами //Труды ОНПУ. – 2004. – Вып.2 (22). – С.108-115.
15. Kondratenko Y.P., Sydorenko S., Kravchenko D. Fuzzy Control Systems of Non-Stationary Plants With Variable Parameters //12th Zittau East-West Fuzzy Colloquium, Conference Proceedings, Heft 84/2005, Nr.2090-2131, Wissenschaftliche Berichte, Institut fur Prozesstechnik, Prozessautomatisierung und Messtechnik, Zittau, Sept. 21-23, 2005, pp.140-152.
16. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. Пер. с англ. под. ред. Быховского М.Л. – М.: Мир, 1974. – 534 с.
17. Кондратенко Ю.П., Кондратенко Г.В., Мельник Т.Л. Синтез та аналіз властивостей нечітких регуляторів для стабілізації температури в суднових приміщеннях //Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сборник. – 2007. – Вып. 12. – С.50-65.
18. Гостев В., Кражнев В., Скрутов С. Выбор функций принадлежности и настройка нечетких регуляторов систем автоматического управления //Автоматизация производственных процессов. – 2002. – №1 (14). – С.162-167.
19. Jantsen, J. (1998). Design of Fuzzy Controllers. Tech. Report no. 98 E 864, Technical University of Denmark, Dept. of Automation, Lyngby, pp. 1-26.

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ СОЧЕТАНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

УДК 512.83

МАРАСАНОВ Владимир Васильевич
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: моделирование сложных систем.

РУДАКОВА Анна Владимировна
к.т.н., доцент кафедры Технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: оптимальное управление большими распределенными системами.

ДЫМОВ Владимир Степанович
к.т.н., доцент кафедры Технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: исследование систем встроенного контроля.

ДЫМОВА Анна Олеговна
старший преподаватель кафедры Технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: моделирование процессов и систем, принятие решений в условиях неопределенности, распознавание образов.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Обычно из опытных данных или конструктивных расчетов испытываемых образцов динамических объектов имеются сведения, согласно которым можно определить диапазоны изменения измеряемых параметров, вхождение в которые может привести к разрушению образца испытываемого динамического объекта. Эти диапазоны могут определяться прочностными характеристиками материалов конструкции, выполнением сочетаний некоторых параметров, опасных для данного образца (например: выполнение условия баланса фаз и баланса амплитуд приводит к возникновению колебаний, разрушающих объект; превышение ускорением предельного значения приводит к большим ошибкам гироскопических систем и т.д.). Поэтому на этапе испытаний необходимо оценить условия возникновения опасного состояния.

Цель работы – разработка математического аппарата оценки условий возникновения опасных состояний динамических объектов.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Имеется выборка

$$(x_{1\xi},\ldots,x_{k\xi}),\quad \xi=\overline{1,N},\quad N>k \qquad (1)$$

из k-мерной совокупности измеряемых параметров. Выборку вместе с точкой $(x_{10},\ldots,x_{k0})$ будем рассматривать как совокупность (N+1) точек в евклидовом пространстве E_k. N выборочных точек k-мерного выборочного пространства берутся на участке нормального функционирования динамического объекта из телеметрии.

Пусть $(x_{p\xi};\ p=\overline{1,S};\ \xi=\overline{1,N})$ – выборка объема N, соответствующая S параметрам, определяющим возникновение опасных состояний и характеризующая их t параметрами; $(x_{v\xi};\ v=\overline{S+1,k};\ \xi=\overline{1,N};\ t+S=k)$ – выборка

значений параметров, являющихся следствием изменения параметров $x_{p\xi}$ (например, группа *p* – горючее, окислитель, добавки, производительности насосов горючего и окислителя; группа *v* – температура в камере сгорания, показания тензодатчиков, фазовые сдвиги в магистралях горючего и окислителя и т.д.).

Указанные выборки можно рассматривать как выборки объема *N* соответственно *s*- и *t*-мерных векторов

$$(x_{p\xi})=\begin{pmatrix} x_{1\xi} \\ x_{2\xi} \\ \vdots \\ x_{s\xi} \end{pmatrix}; \quad (x_{v\xi})=\begin{pmatrix} x_{s+1\xi} \\ x_{s+2\xi} \\ \vdots \\ x_{k\xi} \end{pmatrix}; \xi=\overline{1,N}. \qquad (2)$$

Тогда выборка $(x_{1\xi}, x_{2\xi}, \ldots, x_{k\xi})$ запишется в векторной форме

$$\begin{pmatrix} (x_{p\xi}) \\ (x_{v\xi}) \end{pmatrix}; \quad \xi=\overline{1,N}; \; p=\overline{1,s}; \quad v=\overline{(s+1),k}. \qquad (3)$$

Предположим, что матрица внутреннего рассеяния для (3)

$$(u_{ij})=\begin{pmatrix} \Sigma(x_{1\xi}-x_{10})^2 \Sigma(x_{1\xi}-x_{10})(x_{2\xi}-x_{20}) \ldots \Sigma(x_{1\xi}-x_{10})(x_{k\xi}-x_{k0}) \\ \Sigma(x_{2\xi}-x_{20})(x_{1\xi}-x_{10}) \Sigma(x_{2\xi}-x_{20})^2 \ldots \Sigma(x_{2\xi}-x_{20})(x_{k\xi}-x_{k0}) \\ \ldots\ldots\ldots \\ \Sigma(x_{k\xi}-x_{k0})(x_{1\xi}-x_{10}) \Sigma(x_{k\xi}-x_{k0})(x_{2\xi}-x_{20}) \ldots \Sigma(x_{k\xi}-x_{k0})^2 \end{pmatrix} \qquad (4)$$

и соответствующая ей $\frac{1}{N-1}(u_{ij})$ матрица ковариаций являются неособенными с вероятностью единица и может быть представлена в виде

$$\frac{1}{N-1}(u_{ij})=\frac{1}{N-1}\begin{pmatrix} (u_{pq}) & (u_{pw}) \\ (u_{vq}) & (u_{vw}) \end{pmatrix},$$

где (u_{pq}) и (u_{vw}) – матрицы внутреннего рассеяния *s*- и *t*-мерных векторов;

(u_{pw}) и (u_{vq}) – матрицы взаимного внутреннего рассеяния этих же векторов;

$$p,q=\overline{1,s}; \quad v,w=\overline{s+1,k}.$$

Векторные выборки заданы в произвольном базисе [1, 2]. Для выявления наиболее характерной картины связи находится линейное преобразование, задающее вращение первых *s* и последних *t* координатных осей. Для этой цели используются две линейные формы от первых *s* и последних *t* случайных величин.

$$\begin{aligned} Z_{1\xi} &= (C_{1p})'(x_{p\xi})=\sum_{p=1}^{s} C_{1p}x_{p\xi}, \\ Z_{2\xi} &= (C_{2v})'(x_{v\xi})=\sum_{v=s+1}^{k} C_{2v}x_{v\xi}, \end{aligned} \qquad (6)$$

где $(C_{1p};\ p=\overline{1,s})$, $(C_{2v};\ v=\overline{s+1,k})$ – некоторые вещественные векторы. Штрих в (6) означает транспонирование.

Введением линейных форм мы переходим от выборки $(x_{1\xi}, x_{2\xi}, \ldots, x_{k\xi})$ к выборке

$$(z_{1\xi}, z_{2\xi}, \ldots, z_{k\xi}); \ \xi=\overline{1,N} \qquad (7)$$

с матрицей ковариаций

$$(\tilde{u}_{ij})=\begin{pmatrix} (\tilde{u}_{11}) & (\tilde{u}_{12}) \\ (\tilde{u}_{21}) & (\tilde{u}_{22}) \end{pmatrix}, \qquad (8)$$

где

$$\begin{aligned} &(\tilde{u}_{11})=\sum_{p,q} u_{pq}C_{1p}C_{1q}; \ (\tilde{u}_{22})=\sum_{v,w} u_{vw}C_{2v}C_{2w}; \\ &(\tilde{u}_{12})=\sum_{p,w} u_{pw}C_{1p}C_{2w}; \ (\tilde{u}_{21})=\sum_{v,q} u_{vq}C_{1v}C_{2q}; \\ &\tilde{u}_{ij}=\frac{1}{N-1}\sum_{\xi=1}^{N}(Z_{i\xi}-Z_{i0})(Z_{j\xi}-Z_{j0}), \ i,j=1,2; \\ &Z_{i0}=Z_{j0}=0, \ \text{если } x_{i0}=0, \ i=\overline{1,k}, \end{aligned} \qquad (9)$$

что можно принять без потери общности рассуждений, так как всегда можно перейти от измеряемых параметров к их центрированным величинам. Задача сводится, следовательно, к определению векторов $(C_{1p};\ p=\overline{1,s})$ и $(C_{2v};\ v=\overline{s+1,k})$, при которых коэффициент корреляции между линейными формами (6)

$$R=\frac{(\tilde{u}_{12})}{\sqrt{(\tilde{u}_{11})(\tilde{u}_{22})}} \qquad (10)$$

будет максимальным [3].

Введя нормировку $\left(\frac{x_{i\xi}}{\sigma_i};\ i=\overline{1,k};\ \xi=\overline{1,N}\right)$, формулу (10) можно записать в виде

$$R=(C_{1p})'(\tilde{u}_{12})(C_{2v}). \qquad (11)$$

Теперь задача нахождения векторов (c_{1p}) и (c_{2v}) при которых выражение (11) достигает максимума сводится к задаче на условный экстремум. Введем функцию Лагранжа

$$L=(C_{1p})'(\tilde{u}_{12})(C_{2v})-\frac{1}{2}\lambda\left[(C_{1p})'(\tilde{u}_{11})(C_{1p})-1\right]-\frac{1}{2}\mu\left[(C_{2v})'(\tilde{u}_{22})(C_{2v})-1\right] \qquad (12)$$

Продифференцировав L по компонентам векторов (C_{1p}) и (C_{2v}), получим

$$\left(\frac{\partial L}{\partial C_{1p}}\right) = (\widetilde{U}_{12})(C_{2v}) - \lambda(\widetilde{U}_{11})(C_{1p}) = (0),$$
$$\left(\frac{\partial L}{\partial C_{2v}}\right) = (\widetilde{U}_{12})(C_{1p}) - \mu(\widetilde{U}_{22})(C_{2v}) = (0), \quad (13)$$

где λ и μ – множители Лагранжа.

Так как $(C_{1p})'(\widetilde{U}_{11})(C_{1p}) = 1$ и $(C_{2v})'(\widetilde{U}_{22})(C_{2v}) = 1$, согласно нормировки, то, очевидно, что

$$\lambda = \mu = (C_{1p})'(\widetilde{U}_{12})(C_{2v}) \quad (14)$$

и уравнения (13) в силу симметричности матриц $(\widetilde{U}_{12})$ и $(\widetilde{U}_{21})$ можно записать в виде

$$\begin{pmatrix} -\lambda(\widetilde{U}_{11}) & (\widetilde{U}_{12}) \\ (\widetilde{U}_{21}) & -\lambda(\widetilde{U}_{22}) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (C_{1p}) \\ (C_{2v}) \end{pmatrix} = 0. \quad (15)$$

Условием ненулевого решения (15) будет

$$\begin{vmatrix} -\lambda(\widetilde{U}_{11}) & (\widetilde{U}_{12}) \\ (\widetilde{U}_{21}) & -\lambda(\widetilde{U}_{22}) \end{vmatrix} = 0. \quad (16)$$

Уравнение (16) может быть приведено по формуле Лапласа к виду [1, 3]:

$$(-1)^k(\lambda^k - q_1\lambda^{k-1} + q_2\lambda^{k-2} + \ldots + q_k) = 0. \quad (17)$$

Решение уравнения (17) будет *k* вещественных собственных значений матрицы ковариаций; корни будут вещественными в силу симметричности матрицы (Uij). При этом, в силу теоремы Перрона [2, 4], одно из значений будет максимальным, а остальные, соответственно, λ2, λ3, … λk. Из формулы (14) видно, что λ равно коэффициенту корреляции между $(z_{1\xi}) = (C_{1p})'(x_{p\xi})$ и $(z_{2\xi}) = (C_{2v})'(x_{v\xi})$, где (C1p) и (C2v) удовлетворяют уравнению (15) при некотором значении λ, то есть вектор $\begin{pmatrix} C_{1p} \\ C_{2v} \end{pmatrix}$ является собственным вектором [1, 3]. Так как требуется получить максимальный коэффициент корреляции, выберем $\lambda = \lambda 1$. Подставив это значение в уравнение (15), найдем собственные векторы $\left(C_{1p}^{(1)}\right)$ и $\left(C_{2v}^{(1)}\right)$. Согласно формулы (6), найдем линейные комбинации

$$z_{1\xi}^{(1)} = (C_{1p}^{(1)})'(x_{p\xi}) = \sum_{p=1}^{s} C_{1p}^{(1)} x_{p\xi}$$
$$z_{2\xi}^{(1)} = (C_{2v}^{(1)})'(x_{v\xi}) = \sum_{v=s+1}^{k} C_{2v}^{(1)} x_{v\xi}, \quad (6)$$

являющиеся нормированными линейными формами первых *s* ("причин") и последних *t* ("следствий") измеряемых параметров, имеющих наибольший коэффициент корреляции.

В силу того, что все собственные направления, задаваемые собственными векторами ковариационной матрицы ортогональны (в силу ее симметричности), мы получим *s* пар линейных форм z_1, z_2 некоррелированных между собой. Ввиду максимальности коэффициента корреляции между линейными формами $z_{1\xi}^{(1)} = \sum_{p=1}^{s} C_{1p}^{(1)} x_{p\xi}$ и $z_{2\xi}^{(1)} = \sum_{v=s+1}^{k} C_{2v}^{(1)} x_{v\xi}$, линейная форма $z_{1\xi}^{(1)}$ представляет собой комбинацию компонент вектора $(x_{p\xi})$ ("причин"), которая имеет наиболее сильное влияние на линейную комбинацию вектора $(x_{v\xi})$ ("следствий") и этой линейной комбинацией является $z_{2\xi}^{(1)}$.

ВЫВОДЫ

1. При испытании динамических объектов множество телеметрируемых параметров возможно разделить на две группы на основе причинно-следственных связей.

2. Используя экстремальные свойства собственных значений матрицы внутреннего рассеивания телеметрируемых параметров с помощью линейных преобразований находятся группы сочетаний параметров, оказывающие наибольшее влияние на группы параметров, характеризующих опасные (предаварийные) состояния.

3. Вероятностные оценки возникновения предаварийных состояний могут быть получены с учетом распределения вероятностей собственных значений.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ф.Р. Гантмахер. Теория матриц. – М.: Наука, 1988.
2. П. Ланкастер. Теория матриц. – М.: Наука, 1978.
3. Дж.Х. Уилкинсон. Алгебраическая проблема собственных значений. – М.: Наука, 1972.
4. Марасанов В.В. Прогнозирование структуры динамических систем /В.В. Марасанов, О.И. Забытовская, А.О. Дымова. //Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – №41. – С.265-275.

МЕТОД ПРИНЯТИЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКОЙ ИНФОРМАЦИИ

УДК 518.81

В.П. Писклакова,

О.А. Писклакова

ВВЕДЕНИЕ

Обязательным этапом любой целенаправленной деятельности является принятие решений. При этом не только неверные, но и не эффективные решения приводят к потерям или нерациональному использованию финансовых, временных, трудовых, экологических, энергетических и т.д. ресурсов. В связи с этим проблема разработки научно-обоснованной методологии принятия эффективных решений является одной из актуальных научных проблем.

По определению В.М. Глушкова необходимыми условиями эффективности решений является их своевременность, полнота и оптимальность [1]. Перечисленные требования противоречивы и их удовлетворение связано с серьезными трудностями.

Обеспечение полноты (комплексности) решений требует как можно более полного учета внутренних и внешних факторов, влияющих на принятие решения, глубокого анализа их взаимосвязей, что ведет к росту размерности задачи принятия решений, ее многокритериальности. В свою очередь это приводит к росту неопределенности исходных данных, что обусловлено неполнотой знаний о взаимосвязи факторов и, как следствие, неточного ее описания, невозможностью или неточностью измерения некоторых факторов, случайных внешних и внутренних воздействий и т.д. Дополнительная сложность заключается в том, что неопределенности разнородны и могут быть представлены в виде случайных величин, нечетких множеств или просто интервальных величин.

Таким образом, повышение эффективности принимаемых решений связано с необходимостью решения задач многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При принятии решений в условиях многокритериальности, когда эффективность решения характеризуется кортежем противоречивых разнородных частных показателей (критериев) $< k_i(x) >$, $i = \overline{1,n}$, при непустом множестве компромиссных решений, задача

$$x^{\circ} = \arg \underset{x \in X}{extr} < k_j(x) > ; \ \forall j = \overline{1,m}, \qquad (1)$$

является некорректной, так как не имеет единственного решения.

Наиболее перспективным способом регуляризации задачи многокритериальной оптимизации является формирование обобщенной скалярной оценки качества допустимых решений (функции полезности $P(x)$) [1]:

$$\overline{K}(x) \equiv P(x) = F[\lambda, K_j(x)]; \forall j = \overline{1,m}, \quad (2)$$

где λ – коэффициенты изоморфизма, приводящие разнородные частные критерии $K_j(x)$ к изоморфному виду.

Процедура многофакторного оценивания является субъективной интеллектуальной процедурой, поэтому носителями исходной информации, необходимой для структурно-параметрической идентификации ее модели является специалисты (эксперты) в различных проблемных областях, а основным методом получения первичной информации – метод экспертного оценивания. Субъективизм метода экспертного оценивания и широта проблемно – ориентированных задач привели к тому, что в настоящее время на практике используются несколько альтернативных моделей многофакторного оценивания. Наиболее широко известна аддитивная [2]

$$P(x_j) = \sum_{i=1}^{n} a_i k_i^u(x_j), \quad (3)$$

где $k_i^i(x)$ – нормализованные, т.е. приведенные к безразмерному виду, единому интервалу [0, 1] возможных значений; a_i – безразмерные коэффициенты относительной важности нормализованных частных критериев.

В теории оптимизации хорошо разработаны и продолжают интенсивно развиваться методы принятия решений при известных и фиксированных характеристиках, т.е. в детерминированных условиях. Определенные успехи имеются и в том случае, когда характеристики - случайные величины с известными законами распределения. Эти методы известны как методы принятия решений в условиях риска.

Однако основные трудности возникают тогда, когда исходные данные оказываются неопределенными (хотя, может быть, и не случайными) и они в то же время сильно влияют на результаты решения.

По степени неопределенности можно выделить следующие ситуации [3]: полная определенность – детерминированность; статистическая (вероятностная) неопределенность; лингвистическая неопределенность; интервальная неопределенность.

Все имитационные модели принципиально неточны за счет действия НЕ-факторов [4, 5]: НЕточных измерений исходных данных, НЕполноты значений о функциональных зависимостях, сознательного упрощения моделей за счет НЕ учета некоторых переменных. Это означает, что значения частных критериев $k_i(x)$ вычисляются с большей или меньшей неопределенностью.

Еще одним источником неопределенности при решении задачи МКО является ограничения, определяющие множество допустимых решений X. Источниками этих ограничений являются как эндогенные, внутрисистемные причины, так экзогенные, т.е. внешние требования, порождаемые метасистемой, т.е. внешней, по отношению к рассматриваемой системе, средой. Эти требования, особенно, внешние, не полностью определены, т.е. содержат НЕ-факторы. Это приводит к тому, что система ограничений, определяющих допустимое множество решений X, в общем случае неполная, а описывающие ее уравнения НЕточные.

Третьим источником неопределенности при решении задач МКО является неопределенность, возникающая при их регуляризации. Как известно [6], задача МКО (1) не имеет решения, т.е. является некорректной по Адамару. Регуляризация (1) с целью получения единственного решения основана на скаляризации кортежа частных критериев $k_j(x)$, $j = \overline{1,n}$. Наиболее перспективным способом решения этой задачи является формирование обобщенной скалярной оценки. Реализация такого подхода связана с необходимостью решения задачи структурно-параметрической идентификации модели (2). Трудность решения этой задачи заключается в том, что процесс многофакторного оценивания является интеллектуальным, реализуемым ЛПР или экспертами, и они являются носителями знаний, необходимых для идентификации (2). Для получения знаний от их носителей может быть использованы методологии экспертного оценивания или компараторной идентификации. В обоих случаях можно получить только интервальные значения параметров модели (2), что приводит к интервальной неопределенности функции полезности $P(x)$.

Таким образом, постановка задачи МКО с учетом перечисленных источников неопределенности принимает вид

$$x^{\circ} = \arg \underset{x \in X}{\underline{ext}} P[\overline{A}, \overline{k}_j^H(x)]; \qquad (3)$$

где «—» обозначены переменные, которые содержат интервальную неопределенность;

$\overline{A}$ — кортеж безразмерных весовых коэффициентов $< a_j >$, $j = \overline{1,n}$, учитывающий относительную важность частных критериев;

$\overline{k}_j^H(x)$ — нормализованные, т.е. приведенные к безразмерному виду и единой шкале измерения, частные критерии.

Недостаточно точное знание параметров и переменных модели (3) требует, чтобы для конструктивного анализа они были представлены в некотором формализованном виде. Наиболее адекватным является представление в виде некоторых связных областей на шкалах, характеризующих возможные допустимые в конкретном случае значения каждого параметра.

Это означает, что исходные данные представляются в виде интервалов, задаваемых левыми $Д_Л$ и правыми $Д_П$ границами, при этом результаты моделирования также будут интервальными числами, т.е. содержать интервальную неопределенность. В условиях интервальной неопределенности перед ЛПР возникает задача определения, в каком виде задана информации о предпочтениях внутри самого интервала.

В результате проведенного анализа были выделены следующие варианты задания информации о предпочтениях внутри интервала.

Если границы интервала совпадают или величину интервала по функциональным соображениям можно считать пренебрежимо малой, данные являются точечными детерминированными значениями.

Для числовых исходных данных интервальное задание отвечает ситуации с наибольшей неопределенностью. Диапазон допустимых решений выходных переменных модели, вычисленных по правилам интервальной математики оказывается часто чрезвычайно широким. Этот недостаток частично устраняется, а возможность количественного анализа значительно расширяется, если имеется априорная объективная или эвристическая информация о распределении возможных значений внутри интервала. Самой информативной является ситуация, когда имеется достаточно мощная статистика, позволяющая определить вероятностные характеристики, в частности, функцию плотности распределения и ее параметры – математическое ожидание, дисперсию и т.д.

Еще одной формой представления информации о возможном распределении значений внутри интервала являются нечеткие множества. Теория нечетких множеств предложена Л.Заде для формализации нечетких лингвистических высказываний типа «приблизительно равно…», «около», «лежит в интервале от … до…».

Когда известны только границы интервала, и ЛПР не имеет никакой информации о том, как заданы предпочтения внутри него можно говорить об интервальной неопределенности.

В статье рассматривается задание параметров задачи многокритериальной оптимизации нечеткими множествами, поскольку применение статистического подхода, требует большой выборки однородных событий и/или знаний эксперта, полученных в прошлом на основе анализа подобных ситуаций. Кроме того применение вероятностного подхода требует значительных затрат времени и ресурсов для получения представительной выборки наблюдений. Во многих реальных ситуациях возможность накопления такой выборки весьма затруднена, так как практически каждая задача индивидуальна и к ней предъявляются различные требования. Поэтому одним из вариантов замены статистической информации являются оценки экспертов, которые на основе опыта анализа и выполнения других задач могут сформировать субъективные нечеткие оценки.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Пусть задано допустимое множество решений $x \in X$. Каждое решение характеризуется кортежем разнородных частных критериев $k_i(x),\ i = \overline{1,m}$, представленных в виде интервальных нечетких чисел $< k_i(x),\ \mu_{i}(k_i(x)) >$. Необходимо в этих условиях синтезировать модель выбора компромиссного эффективного решения $x^{\circ} \in X$.

Введем нечеткое множество «экстремальное значение і-го частного критерия», с функцией принадлежности вида

$$\mu[k_i(x)] = \left[\frac{k_i^*(x) - k_i^{HX}}{k_i^{HJ} - k_i^{HX}} \right]^{\alpha_i}, \qquad (4)$$

где $k_i^*(x)$ – модальное значение i-го частного критерия для решения $x \in X$;

$k_i^{НЛ}$, $k_i^{НХ}$ – соответственно наилучшее и наихудшее значения i-го частного критерия на множестве допустимых решений X; α_i – параметр нелинейности.

Носителем указанного нечеткого множества является числовой интервал $[k_i^{НХ}, k_i^{НЛ}]$. Значения $k_i^{НЛ}$ и $k_i^{НХ}$ определяются по правилу

$$k_i^{НЛ} = \begin{cases} \min\limits_{x \in X} k_i(x), \text{ если } k_i(x) \to \min, \\ \max\limits_{x \in X} k_i(x), \text{ если } k_i(x) \to \max; \end{cases} \quad (5)$$

$$k_i^{НХ} = \begin{cases} \min\limits_{x \in X} k_i(x), \text{ если } k_i(x) \to \max, \\ \max\limits_{x \in X} k_i(x), \text{ если } k_i(x) \to \min. \end{cases} \quad (6)$$

Используя модель (4-6) для каждого решения $x \in X$, определяем кортеж значений функций принадлежности

$$\mu[k_i(x)] = < \mu_i[k_i^*(x)] >, \; i = \overline{1,n}, \quad (7)$$

где каждое значение $\mu_i[k_i^*(x)]$ определяет степень принадлежности частного критерия $k_i(x)$ $x \in X$ нечеткому множеству «экстремальное значение $k_i(x)$ критерия», а кортеж (7) в целом, степень принадлежности решения $x_j \in X$ нечеткому множеству, «экстремальное по эффективности решение x° на допустимом множестве X с функцией принадлежности

$$\mu(x^\circ) = F\{A, \mu[k_i^*(x)]\}. \quad (8)$$

Согласно теории полезности [1] экстремальным компромиссным решением на множестве X является решение, имеющее максимальную относительную полезность $P(X)$. При этом $P(X)$ может принимать значения только на интервале [0, 1]. С этой точки зрения функция принадлежности (8) является аналогом $P(X)$. В соответствии с этим в качестве модели (8) можно использовать аддитивную оценку вида

$$\mu_1(x^\circ) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \mu_i[k_i(x)]; \quad (9)$$

взвешенную аддитивную оценку

$$\mu_2(x^\circ) = \sum_{i=1}^{n} a_i \mu_i[k_i(x)], \; 0 \le a_i \le 1, \; \sum_{i=1}^{n} a_i = 1; \quad (10)$$

мультипликативную оценку

$$\mu_3(x^\circ) = \prod_{i=1}^{n} \mu_i[k_i(x); \quad (11)$$

оценку Кобба-Дугласа

$$\mu_4(x^\circ) = \sum_{i=1}^{n} \mu_i[k_i(x)]^{\alpha_i}, \; 0 < \alpha_i \le 2; \quad (12)$$

оценку, представляющую любой фрагмент полинома Колмогорова-Габора

$$\mu_5(x^\circ) = \sum_{i=1}^{n} a_i \mu_i[k_i(x)] + \\ + \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \mu[k_i(x)] \mu[k_j(x)] + \ldots \quad (13)$$

Независимо от вида $\mu(x^\circ)$ общее правило выбора эффективного компромиссного решения x° будет иметь вид

$$x^\circ = \arg\max_{x \in X} \mu(x^\circ). \quad (14)$$

Кроме того, можно реализовать такие методы регуляризации задачи многокритериальной оптимизации как принцип главного критерия и принцип последовательной оптимизации.

Принцип главного критерия в нечетком виде

$$\mu(x^o) = \arg\max_{x \in X} \mu[k_j^*(x)], \\ \mu[(k_i(x)] \ge \alpha_i, \; i = \overline{1, n-1}, \quad (15)$$

где $\mu[k_j^*(x)]$ – модальное значение главного (оптимизационного) критерия;

α_i –допустимые значения α уровней функций принадлежности частных критериев, которые переведены в ограничения.

Принцип последовательной оптимизации (лексикографического упорядочения).

Все частные критерии ранжируются в порядке убывания важности

$$k_1 \succ k_2 \succ \ldots \succ k_n. \quad (16)$$

В этой последовательности решаются однокритериальные задачи по частным критериям. Наилучшее решение в этом случае определяется по следующей схеме [8]. На первом шаге из исходного множества допустимых решений X выделяется подмножество x_1^o решений, эквивалентных (равноценных) по первому (наиболее важному) критерию. Для этого решается однокритериальная оптимизационная задача вида

$$x_1^o = \arg\max_{x \in X} \mu[k_1(x)]. \quad (17)$$

Если множество x_1^o содержит более одного решения – переходим к следующему этапу, т.е. решаем задачу выбора эквивалентных решений по второму по важности критерию, но уже из множества x_1^o:

$$x_2^o = \arg\max_{\substack{x \in X \\ x \in x_1^0}} \mu[k_2(x)]. \quad (18)$$

В общем случае

$$x_i^o = \arg\max_{\substack{x \in X \\ x \in x_{i-1}^o}} \mu[k_i(x)];\ i = \overline{1,n}. \quad (19)$$

Оптимизация продолжается до тех пор, пока на i-м шаге будет получено единственное решение или исчерпаются все критерии. Полученное решение принимается в качестве наилучшего (оптимального).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Фишберн П. Теория полезности для принятия решений /П. Фишберн.– М.: Наука, 1978.–352 с.
2. Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, расчет и приложения /Р. Штойер. – М.: Радио и связь, 1992. – 504 с.
3. Петров Э.Г. Анализ подходов к решению задачи поиска оптимального решения в условиях неопределенности /Э.Г. Петров, О.А. Писклакова //Вестник Херсонского національного технического университета. – 2007. – №4 (27). – С.14-19.
4. Нариньяни А.С. НЕ-факторы: неоднозначность (доформальное исследование) /А.С. Нариньяни //Новости искусственного интеллекта. – 2003. – №5. – С.58-69.
5. Валькман Ю.Р. Интеллектуальные технологии исследовательского проектрования: формальные системы и семеотические модели /Ю.Р. Валькман. – К.: Port Rojal, 1998. – 250 с.
6. Петров Е.Г. Методи і засоби прийняття рішень в соціально-економічних системах /Е.Г. Петров, М.В. Новожилова, І.В. Гребеннік. – К.: Техніка, 2004. – 256 с.
7. Математический энциклопедический словарь /под ред. Ю.В. Прохорова. – М.: Сов. энциклопедия, 1988. – 250 с.
8. Щеглов А.Ю. Многокритериальная оптимизация сложных систем при распределении параметров в порядке убывающей важности /А.Ю. Щеглов //Кибернетика и системный анализ. – 1991. – №6. – С.167-171.

ТЕОРЕТИКО-ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ МЕТОДОЛОГІЇ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОСТІ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ І ОБ'ЄКТОВИХ СИСТЕМ

УДК 519.713:631.411.6

КОЗУЛЯ Тетяна Володимирівна
к.геогр.н., доцент кафедри комп'ютерного моніторингу і логістики
НТУ «Харківський політехнічний інститут».
Наукові інтереси: складні системи, синергетика і термодинамічний аналіз соціально-еколого-економічних систем, екологічний моніторинг.
e-mail: kozulia@kpi.kharkov.ua

ШАРОНОВА Наталія Валеріївна
д.т.н., професор, завідувач кафедри «Інтелектуальних комп'ютерних систем»
НТУ «Харківський політехнічний інститут».
Наукові інтереси: системний аналіз складних систем різної природи.
e-mail: nvsharonova@mail.ru

ЄМЕЛЬЯНОВА Дар'я Ігорівна
студентка НТУ «Харківський політехнічний інститут».
Наукові інтереси: прийняття рішень в системі екологічного моніторингу; моделювання фізико-хімічних процесів у природних системах.
e-mail: sone4ko-2008@yandex.ru

КОЗУЛЯ Марія Михайлівна
студентка кафедри комп'ютерного моніторингу і логістики НТУ «Харківський політехнічний інститут».
Наукові інтереси: системний аналіз, екологічний моніторинг.

АКТУАЛЬНІСТЬ І ДОЦІЛЬНІСТЬ ТЕМИ РОБОТИ ПОВ'ЯЗАНА З ТИМ, ЩО:

– в теорії і практиці моделювання та розвитку методів розв'язання задач оцінки екологічної якості навколишнього середовища тільки фрагментарно наданий аналіз процесів, пов'язаних з наслідками впливу техногенних факторів, відсутнє методичне забезпечення кількісної оцінки прояву міграційно-трансформаційних механізмів у системі екологічного моніторингу;

– для реалізації Концепції національної екологічної політики України, затвердженої на період до 2020 року, яка базується на принципах рівності трьох складових розвитку держави (економічної, екологічної, соціальної), необхідним є зміна пріоритетів на екологічні цінності за концепцією сталого розвитку, погляд на якість як відповідність екологічності у всіх сферах навколишнього середовища.

За умов обмеженого потенціалу засобів і теоретичних підходів з аналізу і методів обробки даних моніторингу є доцільним підвищення інформаційних можливостей прийняття рішення з екологічної безпеки за умови інтеграції екологічних цілей в секторальну політику на рівні соціально-економічних програм.

Таким чином, *основна ідея роботи* спрямована на обґрунтування методології комплексної оцінки якості та екологічної безпеки складних територіально-об'єктових угрупувань відповідно до екологічних положень концепції сталого розвитку, національної екологічної політики з метою стабілізації природного стану геохімічного середовища.

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Системна модель об'єкта дослідження передбачає обов'язкове виділення економічного, екологічного і соціального аспектів [1, 2], визначає на базі використання положень теорії ентропії, синергетики та негентропії перехід від системного аналізу стану мікрооб'єкта до визначення перебігу процесів, що відповідають за гомеостаз внутрішнього середовища інтеґрувальної системи і рівновагу «об'єкт – навколишнє середовище» (зовнішній гомеостаз). Таким чином, *задачею дослідження* є визначення умов наведення *екологічного* порядку завдяки переведення системи з *екологічно* неупорядкованого стану до структурованого за рахунок забезпечення *для «система-середовище»* не випадкового, а *кооперативного інформаційного зв'язку*, що призводить до «колективного *екологічного* стану», який описується одним параметром порядку і реалізується за рахунок необоротних процесів.

Метою роботи є формування задачі ідентифікації ступеня екологічності територіально-об'єктових систем, що передбачає розв'язання таких задач:

1) формування методології комплексної системи оцінки якості різнорідних систем і процесів в них за єдиною універсальною функцією з метою встановлення рівня їх екологічності (відсутність негативного впливу на об'єкти біосфери і людину);

2) проведення розрахунків оцінки екологічності стану техногенно-навантажених об'єктів за наданою методикою і забезпечення об'єктивності отриманих результатів.

Сутність і результати досліджень. Для вирішення екологічної задачі за методологією комплексної оцінки екологічності систем (КЕС) пропонується завдяки універсальності імовірнісно-ентропійних характеристик стану систем і процесів *P, S і параметр x)* перейти від результатів аналізу статистичних спостережень до розгляду термодинамічних потоків (процесів), які дозволяють або утримати систему в стані рівноваги ($\Delta S \to 0$, рис. 1), або зменшувати негативні впливи між системами за рахунок трансформаційних перетворень ($S \to \max$, рис. 2), чи фіксувати дестабілізацію в об'єкті ($\Delta S \to \max$, рис. 3).

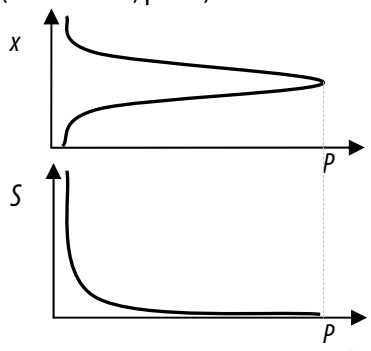


Рисунок 1 – Стан рівноваги $\Delta S \to 0$

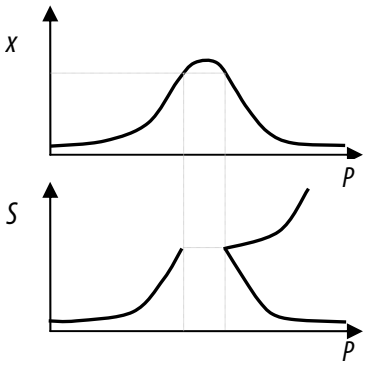


Рисунок 2 – Стабілізація, позитивні процеси $S \to \max$

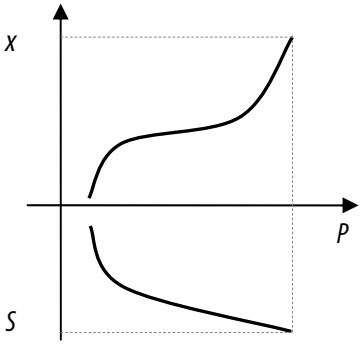


Рисунок 3 – Дестабілізація стану $\Delta S \to \max$

Теоретичними положеннями для формування імовірнісно-ентропійного підходу і основ методології комплексної оцінки якості навколишнього середовища слугували наукові розробки з теорії систем, синергетики, ентропії та інформації І.Р. Пригожина, І. Стенгерса, Дж. Ніколаса, Н. Мартина, Дж. Інгленда, Г. Хакена, Э.Х. Лийва, Л. Бриллюена, акад. Б.Б. Кадомцева. Основною метою методології є визначення теоретичної бази

оцінки екологічності складної організаційної системи за умови встановлення механізмів усунення прямого зв'язку між економічним зростанням і погіршенням стану навколишнього природного середовища. Мова йде про можливість для соціально-еколого-економічної системи надати аналітичну оцінку екологічної відповідності її стану і функціонування в площині імовірнісно-ентропійно-ризикового рівня виконання вимог безпеки. На базі даних «стан→процес→стан» щодо гомеостазу «система – зовнішнє середовище» за імовірнісно-ентропійним аналізом на мікро- і макрорівні систем-системного об'єкта його загальний стан визначається ентропійним функціоналом вигляду $S_{\text{КЕС}} = \{U_T, F(t,u), E(t,u), X_{qE}, S_w, A_w, D_w\}$,

де S_w – стохастичний оператор, який відповідає за перетворення невипадкових функцій (функцій стану та функціонування визначеної статистично рівноважної системи) у випадкові (функції трансформації при стохастичній дії фактора);

A_w – оператор усереднення – перехід стохастичних функцій у детерміновані (перехід системи у новий стаціонарний стан у результаті самоорганізації);

D_w – детермінований оператор, який відповідає за функцію виходу;

$U_T = T \otimes U$;

X_{qE} – внутрішній стан системи.

Оскільки випадковий функціонал не може бути критерієм якості системи, то використовують його статистичні характеристики $\bar{J} = \sum_{i=1}^{k} w_i J_i$. Відповідність умовам екологічної якості об'єкта J при незначному впливу на нього з боку зовнішнього середовища на макрорівні $F(t,u)$ (управління на складові системи $V_d(t,u)$) згідно з «термодинамічним досвідом» розв'язання техніко-економічних задач має вигляд:

$$J = J[D_w, Q(t,u)] \quad Q(t,u) = M\{S_w, F(t,u)\},$$

$$Q(t,u) = M\{S_w, V_d(t,u)\},$$

де *M* – оператор математичного очікування.

Відносно змінних w_i ($i \in \overline{1,k}$) функціонал є лінійним. Для визначення імовірного макростану інтеґрувальної системи, зважаючи на прийняті термодинамічні положення, використовують не функцію *P*, а ентропію $S = C \ln P$, яка при великих значеннях N складових елементів системи має вигляд: $S = -\sum_{i=1}^{m} N_i \ln N_i + C_0$.

Прийняття управлінського рішення з урахуванням критерію оцінки J при детермінованому управлінні визначається функцією $V_d(t,u)$, при якій J досягає екстремуму. Для систем-системного утворення надають випадковий набір детермінованих функцій Q_1, Q_2, Q_3 і критерій якості визначають за індексом виду $J_i = J[D_w, Q_i(t,u)]$. Для прийняття управлінського рішення враховують не тільки значення впливу, а й умови максимізації ентропії при виконанні деяких обмежень:

постійне число елементів складових систем – $\sum_{i=1}^{m} N_i = N$;

постійність енергії складових систем – $\sum_{i=1}^{m} \varepsilon_i N_i = E$, де ε_i – енергія одного із елементів системи, що витрачається для забезпечення певного прийнятного екологічного стану об'єкта (рис. 4).

$$S_0 \xrightarrow{S_w} < S_1 \xrightarrow{q(x,t)} S_1^1 \xrightarrow{A_w} < S_2 \xrightarrow{D_w \to H'_w} S_{\max}(\Delta S \to 0)$$

$$S_0 \xrightarrow{D} \Delta S \to S_1 \to P \to Risk$$

S_0 – умови зв'язку між початковим гомеостатичним станом системи,

D – дія навколишнього середовища відповідно до його стану (визначено властивостями зв'язку між системами в межах інтеґрувального об'єкта і управляючою зовнішньою дією),

ΔS – зміни у системі,

S_1 – реалізація нового стану системи з імовірністю P,

$Risk \to 0$ – відповідність вимогам екологічної безпеки

Рисунок 4 – Аналіз екологічної відповідності, умов регулювання гомеостазу для об'єкта дослідження

Практична реалізація методології КЕС розглянута для системної моделі ґрунтів за аналізом внутрішніх і зовнішніх факторів геохімічної міграції техногенних речовин. Визначення геохімічно-трансформаційної міграції досліджуваних у роботі полютантів зроблено на основі висновків, які визначені з урахуванням досліджень екологічного стану долинних ландшафтів р. Сіверський Донець за даними рентгенофазового аналізу ґрунтів цієї місцевості та чисельних різнопланових літературних даних. Для прикладу взяті середні значення вмісту важких металів у ґрунтах, проби яких відбиралися в осінній і весняний період на території Зміївського району з 5 постійних і 16 контрольних точок спостереження протягом 1994-2004 рр., що склало з урахуванням паралельного аналізу близько 400 зразків і 10800 елемент-визначень [3].

За методологією зрушення в об'єкті навколишнього середовища (*P*) визначається величиною ентропії стану елементів забруднення (*S(P)= logarifm*) з урахуванням подальшого розвитку небезпеки відповідно до ентропійної оцінки вірогідних процесів для даного середовища (*RR(econ)=S1→PPI (X)*) на основі нормування вихідних даних у вигляді індексу забруднення. Комплексний екологічний ризик визначається імовірнісно-ентропійною оцінкою якості середовища (RR_{ecol}) (табл. 1) і величиною ризику здоров'ю за еколого-гігієнічним оцінюванням [4] і ентропійним аналізом відповідності (табл. 2).

На феноменологічній основі визначено вірогідність трансформації хімічних елементів за довільними процесами, а саме сполучення катіоногенних і аніоногенних міграційних форм ВМ. За умови термодинамічної рівноваги перебіг перетворень з утворенням нерозчинних сполук, і таким чином зниження екологічного ризику, відбувається у напрямку збільшення ентропії і зменшення енергетичного запасу, що обґрунтовано у вигляді матриці сполученості ентропійної оцінки стану елементів у потоці (*S(P)*) й графічного аналізу ентропійних змін $\Delta S \to \max$ (рис. 5).

Оцінка ризику здоров'ю і рівень небезпеки визначений відповідно до шкали, наданої в літературних джерелах [5, 6] (табл. 2).

Примітка: згідно з [5]*: 1 < RR <= 1,5 – малий, 1,5 < RR <= 2 – середній, 2 < RR <= 3,2 – високий, 3,2 < RR <= 5 – дуже високий; відповідно до [6]**: 0,1–0,3 – малий ризик; 0.3–0,4 – середній ризик

Таблиця 1 –

Результати аналізу імовірнісно-ентропійної оцінки ризику у ґрунтах

Елементи ідентифі-кації забруднення	Імовірність відхилення від мінімально встановленого впливу P(X)	Ентропійна оцінка стану ВМ у міграційному потоці ґрунту S(P)=logarifm	Ризик дії забруднюючого елемента, оцінка інформаційній ентропії RR(ekon)= S1	Імовірність відхилення техногенного навантаження від допустимих нормативних значень PP(X)	Екологі-чний ризик SS(X) RR_{eol}
Стан важких металів у просторовому розповсюдженні у ґрунтах 5-10 см					
Zn	0,104	-2,267	0,235	0,545	0,331
Co	0,2	-1,611	0,322	0,581	0,316
Ni	0,199	-1,616	0,321	0,481	0,352
Pb	0,13	-2,042	0,265	0,332	0,366
Sr	0,185	-1,687	0,312	0,716	0,239
Cu	0,159	-1,842	0,292	0,308	0,363
Cr	0,071	-2,642	0,188	0,446	0,36
V	0,088	-2,435	0,213	0,28	0,356
Mo	0,231	-1,465	0,339	0,332	0,366

Враховуючи особливості ентропійної оцінки, у роботі запропоновано визначення екологічності відповідно до рівня техногенного навантаження на НС з використанням MIPS- аналізу ступеня впливу на екологічну систему з боку соціально-економічної діяльності [7]. За наданою схемою аналізу екологічності надається кількістю переміщеної у навколишньому середовищі маси речовини в об'єктах довкілля з урахуванням стану біотичних і абіотичних ресурсів в природних екосистемах з подальшим використанням отриманих результатів з ідентифікації небезпеки у вигляді ризику екологічного і здоров'я населення (рис. 6).

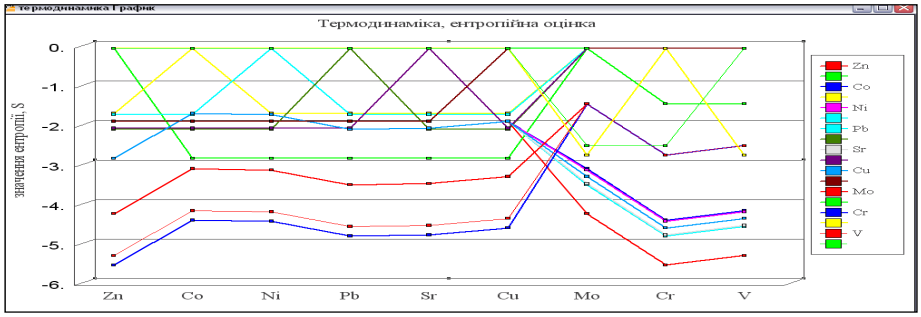


Рисунок 5 – Ентропійна оцінка стану забруднювачів у ґрунтах

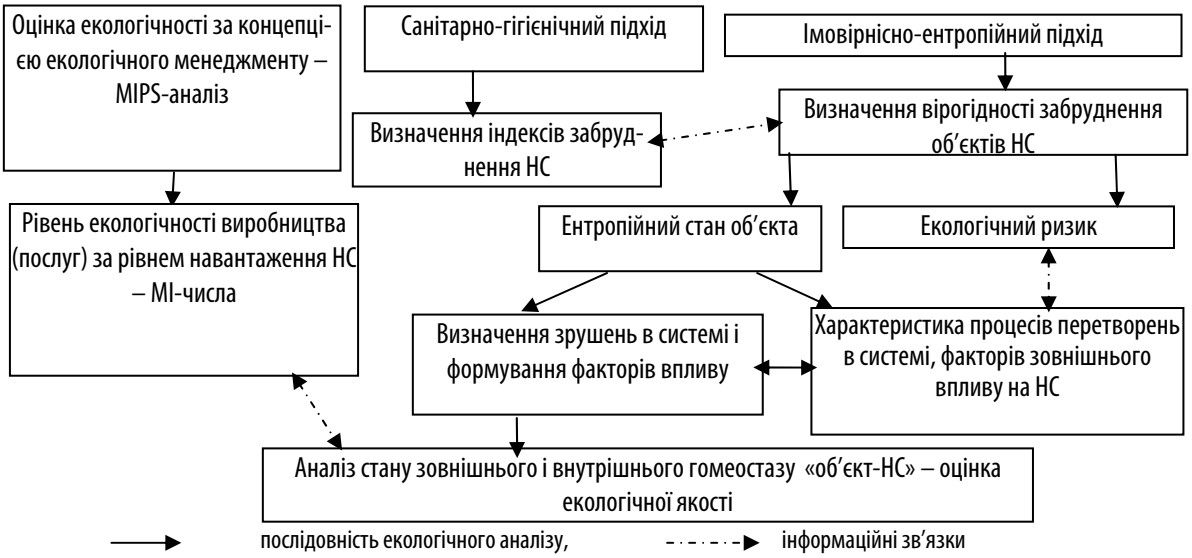


Рисунок 6 – Схема визначення рівня техногенного навантаження на НС

Таблиця 2 –

Результати ризик-аналізу на основі динаміки змін захворювання

Захворювання	Екологічно обумовлений ризик здоров'ю [4]				Імовірнісно-ентропійний ризик здоров'ю [3]			
	RR_{ij} – відносний ризик	AR_{ij} – атрибутивний ризик	$RR_{зал}$ – залишковий відносний ризик	Оцінка ризику*	Імовірність відхилення від min прояву P(X)	Ентропійна оцінка S(P)= =logarifm	Ризик, оцінка інформаційної ентропії Risk= S1	Оцінка ризику**
Злоякісні новоутворення	1,18	0,068	1,089	малий	0,128	-2,052	0,26	малий
Захворюваність на хронічній пієлонефрит	2,58	0,08	1,92	висо-кий	0,172	-1,762	0,3	серед-ній
Захворюваність на гіпертонічну хворобу	5	2,91	0,49	висо-кий	0,164	-1,805	0,297	серед-ній
Захворюваність на атеросклероз	3,02	0,067	2,09	висо-кий	0,147	-1,92	0,281	малий
Захворюваність на камені нирок и сечоводів	3,98	0,1	2,29	висо-кий	0,161	-1,826	0,294	серед-ній

За методикою оцінки санітарно-гігієнічної якості стану систем розраховуються індекси забруднення, значення яких є вихідними для аналізу вірогідності виникнення порушень в елементах систем об'єкта. Зрушення в системі будь-якого рівня дослідження визначаються як дестабілізація упорядкованості через певні складові і процесні зміни, які загалом характеризуються ентропійною функцією. Такий підхід дозволяє, по-перше, оцінити ступінь екологічної врівноваженості стану систем, по-друге, напрямки трансформаційних перетворень, які можуть призвести до появи нового фактору аналізу з оцінки екологічності об'єкта.

Перша частина задачі розв'язується на основі визначення кількісних ризик-характеристик для кожного фактору впливу (Risk).

Другий етап розв'язку задачі стосується термодинамічного аналізу трансформаційних змін забруднювачів в НС відповідно до феноменологічних даних і визначення ентропійних характеристик стану і процесів для розглянутих систем (S).

Практична реалізація комплексу MIPS-аналізу (табл. 3) і імовірнісно-ентропійного підходу надана для комплексної оцінки екологічного стану території Дергачівського полігону (рис. 7, табл. 4).

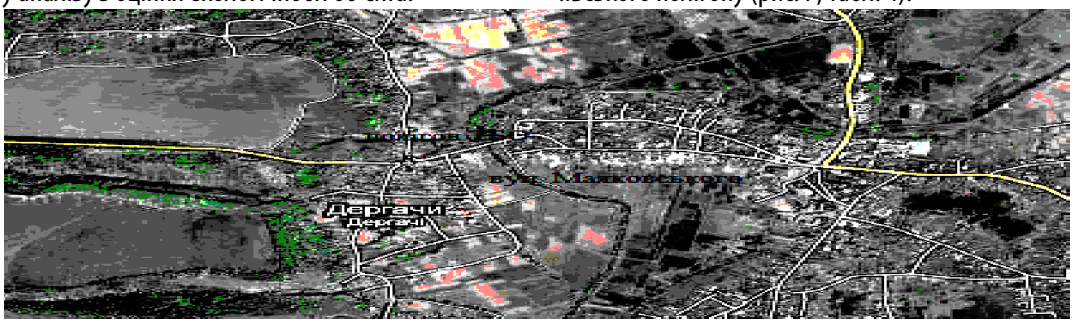


Рисунок 7 – Карта території полігону ТБО

Таблиця 3 –

Розрахунок MIPS- показників (дані полігону ТБО) [3]

показники	MI_числа для повітря 1	MI_числа для води 2	MI_числа для людини 3	S,т	MIPS 1	MIPS 2	MIPS 3
водневий показник	0,7	93,7	2,52	90,00	0,0077778	1,041111	0,028
сульфати	0,413	112,1	2,61	85	0,0048588	1,318824	0,030706
хлориди	1,15	110,6	8,61	73,00	0,0157534	1,515068	0,117945
аміак	5,04	10,1	1,85	17,00	0,2964706	0,594118	0,108824
нітрати	0,99	58	1,43	11,00	0,09	5,272727	0,13
нітрити	10,5200	351,2	14,2200	37,00	0,2843243	9,491892	0,384324
загальне значення MIPS					0,6991849	19,23374	0,799799

Таблиця 4 –

Значення комплексної оцінки впливу на НС

Показники	**Risk [2]**	**S [3]**	**MI_e**
водневий показник	0,089109306	0,16334405	4,29791667
сульфати	0,061793855	0,25846712	3,41897647
хлориди	0,081678017	0,0455302	7,33438356
аміак	0,223838433	-9,05966061	2,85833333
нітрати	0,045054978	0,3132299	7,29363636
нітрити	0,335062322	-14,8755632	56,1162162

Як і в попередньому прикладі остаточна оцінка небезпеки визначається за ризик-аналізом рівня здоров'я населення (табл. 5).

Примітка: згідно з [5]*: 1 < RR <= 1,5 – малий, 1,5 < RR <= 2 – середній, 2 < RR <= 3,2 – високий, 3,2 < RR <= 5 – дуже високий; відповідно до [6]**: 0,1–0,3 – малий ризик; 0.3–0,4 – середній ризик

Таблиця 5 –

Результати ризик-аналізу на основі динаміки змін захворювання

Захворювання	Екологічно обумовлений ризик здоров'ю [3]				Імовірнісно-ентропійний ризик здоров'ю [2]			
	RR_{ij} – відносний ризик	AR_{ij} – атрибутивний ризик	$RR_{зал}$ – залишковий відносний ризик	Оцінка ризику*	Імовір-ність відхиле-ння від min прояву P(X)	Ентропій-на оцінка S(P)= =logarifm	Ризик, оцінка інформаційної ентропії Risk= S1	Оцінка ризику**
Злоякісні новоутворення	1,068	0,022	1,039	малий	0,128	-2,052	0,26	малий
Захворюваність на хронічній пієлонефрит	1,62	0,05	1,438	малий	0,172	-1,762	0,3	серед ній
Захворюваність на гіпертонічну хворобу	2	1,61	0,615	серед ній	0,164	-1,805	0,297	серед ній
Захворюваність на атеросклероз	3,89	0,09	2,646	висо кий	0,147	-1,92	0,281	малий
Захворюваність на камені нирок и сечоводів	1,5	0,037	1,356	малий	0,161	-1,826	0,294	серед ній

Таким чином, згідно з результатами визначення ризику екологічної небезпеки за ентропійним оцінюванням і MIPS- аналізом встановлено фактор дестабілізації екологічності – нітрити (табл. 4) і загальний екологічний ризик як середній, що відповідає середньому і високому рівню ризику здоров'ю (табл. 5).

ВИСНОВКИ

Дослідження задачі оцінки якості НС відповідно до концепції сталого розвитку з метою формування комплексного методичного підходу її розв'язання мають практичне значення відповідно до таких отриманих результатів:

– запропонована нова модель комплексної оцінки екологічності систем (КЕС) і практично обґрунтована доцільність впровадження її як інструментарію розв'язання задач екологічної безпеки для дослідження техногенно-навантажених територій, ландшафтно-геохімічних комплексів на рівні макро-, меза- і мікросистем;

– надано алгоритмічне забезпечення з екологічної оцінки системних об'єктів на основі імовірнісно-ентропійного підходу і MIPS- аналізу;

– запропоновано комплексність оцінювання екологічності НС як зв'язку між екологічним станом і рівнем здоров'я населення на імовірнісно-ентропійній основі для системи «стан – процес – стан» для об'єктного дослідження.

Опис територіально-об'єктових угрупувань як системних об'єктів дослідження за методологією комплексної оцінки екологічності дозволяє при визначенні рівня безпечності ситуації за результатами моніторингу факторів порушення рівноваги урахувати вірогідність хіміко-трансформаційних перетворень в НС (статистична обробка результатів моніторингу ґрунтів, математичні моделі взаємозв'язку між характеристиками стану об'єкта), що дає підстави для встановлення комплексного механізму управління якістю техногенно-навантажених територій за рахунок науково-обґрунтованого сполучення техногенних потоків з метою регульованого зменшення екологічного ризику.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Згуровський М.З. Оценивание устойчивого развития окружающей среды на субнациональном уровне в Украине /М.З. Згуровский, Г.А. Статюха, И.Н. Джигирей //Системні дослідження та інформаційні технології. – 2008. – №4. – С.7-20.

2. Панкратов В.А. Системный подход к оцениванию устойчивого развития /В.А. Панкратов //Системный анализ и информационные технологии: материалы 12-й Международной научно-технической конференции SAIT 2010, Киев, 25–29 мая 2010 г. /УНК "ИПСА" НТУУ "КПИ". – К.: УНК "ИПСА" НТУУ "КПИ", 2010. – С.133.
3. Козуля Т.В. Процеси екологічного регулювання. Концепція корпоративної екологічної системи: монографія /Т.В. Козуля. – Харків : НТУ «ХПИ», 2010. – 588 с.
4. Прусаков В.М. Анализ динамики риска заболеваний от воздействия факторов окружающей среды/ В.М. Прусаков, М.В. Прусакова //Гигиена и санитария. – 2006. – №1. – С.45-49.
5. Методы оценки нарушений репродуктивного здоровья населения в связи с факторами среды обитания, оказывающими вредное воздействие на человека. Методика. Государственный комитет санитарно-эпидемиологического N 18-8/182-09. – Офиц. изд. – М.: Департамент Госсанэпиднадзора РФ, 2001.
6. Машина Н.І. Економічний ризик і методи його вимірювання /Н.І. Машина. – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 188 с.
7. Пахомова Н.В. Экономика природопользования и экологический менеджмент /Н.В. Пахомова, К.К. Рихтер. – СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1999. – 488 с.

АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ УРАВНЕНИЙ МЕЖОТРАСЛЕВОГО БАЛАНСА МЕТОДОМ ТЕОРИИ ВОЗМУЩЕНИЙ

УДК

МАРАСАНОВ Владимир Васильевич
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
Технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: моделирование сложных систем.

Забытовская Оксана Ивановна
ассистент кафедры высшей математики и экономической кибернетики
Херсонского государственного аграрного университета.
Научные интересы: прогнозирование динамических систем, экспертные системы.

Дымова Анна Олеговна
старший преподаватель кафедры Технической кибернетики
Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: моделирование процессов и систем, принятие решений
в условиях неопределенности, распознавание образов.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из эффективных методов исследования экономической динамики как в теоретическом так и в прикладном аспекте являются динамические модели затраты-выпуск (модели межотраслевого баланса). Математические зависимости между величиной капитальных вложений и приростом продукции служат основой построения различных вариантов динамических моделей межотраслевого баланса. Отличительной чертой динамических моделей межотраслевого баланса является выделение производственных капиталовложений (инвестиций) из состава конечной продукции и изучения их влияния на рост объема производства [6]. Изменение внутренних капиталовложений можно рассматривать как возмущение динамической системы.

Цель работы – исследование влияния внутренних инвестиций на величину конечного продукта экономической системы.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В статистическом балансе капиталовложения отображаются общей величиной в составе конечной продукции. В динамической же схеме произведенный конечный продукт $Y_i(t)$ в i-й отрасли за период t делится на две части: $C_i(t)$ и $K_i(t)$, т.е.

$$Y_i(t) = K_i(t) + C_i(t) \qquad (1)$$

Величина $C_i(t)$ предназначена для личного и общественного потребления, накопления в непроизводственной сфере, на экспорт и т.п. Величина $K_i(t)$ идет на прирост фондов в отраслях, т.е.

$$K_i(t) = \sum_{j=1}^{n} \Delta\varphi_{ij}(t), \qquad (2)$$

где $\Delta\varphi_{ij}(t)$ – количество продукции i-й отрасли, направляемое в текущем периоде в j-ю отрасль в качестве производственных капиталовложений (для увеличения количества производственного оборудования, сооружений и т.п.).

Таким образом, система уравнений производства и распределения продукции за период t в динамическом балансе имеет вид

$$\begin{aligned} x_i(t) &= \sum_{j=1}^{n} x_{ij}(t) + \sum_{j=1}^{n} \Delta\varphi_{ij}(t) + C_i(t), \quad i = \overline{1,n}. \\ x_{ij}(t) &= a_{ij}(t)x_j(t), \quad i,j = \overline{1,n}, \end{aligned} \qquad (3)$$

где $a_{ij}(t)$ – коэффициент прямых материальных затрат в период t;

$C_i(t)$ – часть конечного продукта, идущего на потребление.

Прирост продукции j-й отрасли за период t равен

$$\Delta x_j(t) = x_j(t) - x_j(t-1).$$

Примем, что прирост фондов прямо пропорционален приросту продукции, т.е.

$$\Delta\varphi_{ij}(t) = b_{ij}(t)\Delta x_{ij}(t),$$

$$b_{ij}(t) = \frac{\Delta\varphi_{ij}(t)}{\Delta x_j(t)}, \qquad (4)$$

где $b_{ij}(t)$ – коэффициент пропорциональности, показывающий сколько продукции i-й отрасли надо вложить в j-ю отрасль, чтобы увеличить выпуск в этой отрасли на единицу (капиталоемкость единицы выпуска продукции j-й отрасли – коэффициент вложений).

Из (3) следует

$$x_i(t) = \sum a_{ij}(t)x_j(t) + \sum b_{ij}(t)\Delta x_j(t) + C_i(t), \qquad (5)$$

Так как в непрерывном случае $\frac{d\varphi_{ij}(t)}{dt} = b_{ij}(t)\frac{dx_j(t)}{dt}$, то

$$x_i(t) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}(t)x_j(t) + \sum_{j=1}^{n} b_{ij}(t)\frac{dx_j(t)}{dt} + C_i(t), \quad i = \overline{1,n} \qquad (6)$$

Выражение (6) – динамическая модель В. Леонтьева [6].

Коэффициенты $a_{ij}(t)$ образуют $(n\times n)$ – матрицу прямых затрат **A**(t). Коэффициенты $b_{ij}(t)$ образуют $(n\times n)$ – матрицу **B**(t) – матрицу внутренних инвестиций.

Введя вектор $\vec{C}(t)$ конечного продукта, идущего на потребление с точностью до структуры потребления в период t $\vec{C}(t) = x(t)\,\vec{d}(t)$, $\vec{d}(t)$ - вектор, задающий структуру потребления, и вектор трудоемкости продукции $\vec{l}(t) = (l_1(t), l_2(t), \ldots, l_n(t))$, $\sum_{j=1}^{n} l_j(t)x_j(t) = L(t)$ - общее количество трудовых ресурсов, задействованных в экономической системе, получим систему (n+1) уравнений

$$\vec{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}(t)\vec{x}(t) + \mathbf{B}(t)\frac{d\vec{x}(t)}{dt} + \vec{x}(t)\vec{d}(t) \qquad (7)$$

$$\vec{l}(t)\vec{x}(t) = L(t), \qquad (8)$$

где последнее уравнение может выступать в качестве ограничения по трудовым ресурсам.

Представим уравнение (7) в стандартной форме

$$\vec{x}(t)\left[\mathbf{I} - \mathbf{A}(t) - \vec{d}(t)\right] = \mathbf{B}(t)\frac{d\vec{x}(t)}{dt}$$

$$\mathbf{B}(t)\frac{d\vec{x}(t)}{dt} = \vec{x}(t)\left[\mathbf{I} - \mathbf{A}(t) - \vec{d}(t)\right],$$ считая структуру потребления постоянной и обозначив $\mathbf{A}(t) - \vec{d}(t) = \widetilde{\mathbf{A}}(t)$, получим

$$\frac{d\vec{x}(t)}{dt} = \left[\mathbf{I} - \widetilde{\mathbf{A}}(t)\right]\mathbf{B}^{-1}(t)\vec{x}(t) \qquad (9)$$

В модели (9) предполагается, что прирост продукции текущего периода обуславливается вложениями, произведенными в этом же периоде. Хотя в реальных системах материального баланса есть запаздывание инвестиций, амортизация основных производственных фондов.

Решением уравнения (9) будет вектор $\vec{x}(t)$ – значение валового продукта при известных матрицах материальных затрат **A**(t) и матрицах производственных инвестиций **B**(t), которые по смыслу функционирования экономической системы должны быть неотрицательно определенными. Кроме того матрица **A**(t) должна быть неразложимой и продуктивной [4, 6], что эквивалентно одному из следующих требований:

1) максимальное собственное число матрицы **A**(t) $\lambda(A) < 1$;

2) матрица $\left(\mathbf{I} - \mathbf{A}(t)\right)^{-1}$ - положительно определена;

3) матричный ряд $\sum_{i=0}^{\infty} A^i(t)$ сходится;

4)

$$\sum_{i=0}^{\infty} A^i(t) = \left(\mathbf{I} - \mathbf{A}(t)\right)^{-1} \qquad (10)$$

Как показано в [5, 6] плавное изменение элементов матриц **A** и **B** может привести к нарушению их продуктивности, неразложимости и положительной определенности, что приведет к качественным изменениям решений уравнений материального баланса и к неустойчивому функционированию экономической системы. Поэтому роль вырожденной критической точки будут играть вырожденные собственные значения матриц **A**(t) и **B**(t) [1, 5].

Пусть указанные матрицы удовлетворяют условию

$$|a_{ij}| < 1, \quad |b_{ij}| < 1 \tag{11}$$

и изменилось условие внутренних инвестиций.

Пусть λ_1 простое собственное значение матрицы **A** при некотором t. Найдем соответствующее собственное значение

$$(\mathbf{A} + \varepsilon\mathbf{B}) \tag{12}$$

Характеристическое уравнение матрицы **A**

$$\det(\lambda\mathbf{I} - \mathbf{A}) = \lambda^n + C_{n-1}\lambda^{n-1} + \\ + C_{n-2}\lambda^{n-2} + \ldots + C_0 = 0 \tag{13}$$

Тогда характеристическое уравнение (12) будет

$$\det(\lambda\mathbf{I} - \mathbf{A} - \varepsilon\mathbf{B}) = \lambda^n + C_{n-1}(\varepsilon)\lambda^{n-1} + \\ + C_{n-2}(\varepsilon)\lambda^{n-2} + \ldots + C_0(\varepsilon) = 0 \tag{14}$$

где $C_r(\varepsilon)$ – полиномы степени (n–r) такие, что

$$C_r(0) = C_r . \tag{15}$$

Это становится очевидным (согласно теории алгебраических функций), если запишем точное выражение для $\det(\lambda\mathbf{I} - \mathbf{A} - \varepsilon\mathbf{B})$ [1, 2]. Можно наложить [4]:

$$C_r(\varepsilon) = C_r + C_{r1}\varepsilon + C_{r2}\varepsilon^2 + \ldots + C_{r,n-r}\varepsilon^{n-r} \tag{16}$$

Рассмотрим случай, когда λ_1 простой корень (13), то для $|\varepsilon| < 1$ существует простой корень (14), который дается сходящимся степенным рядам

$$\lambda_1(\varepsilon) = \lambda_1 + k_1\varepsilon + k_2\varepsilon^2 + \ldots \tag{17}$$

Очевидно, что $\lambda_1(\varepsilon) \longrightarrow \lambda_1$ при $\varepsilon \longrightarrow 0$.

Возмущение элементов матрицы ε определяет возмущение собственного значения λ_1 характеристического полинома матрицы **A**, что вследствие непрерывной зависимости изменений коэффициентов характеристического полинома от изменений элементов матрицы **A**, в свою очередь, приведет к изменению собственного вектора x_1 матрицы **A**, а оно приведет к изменению направления и величины движения экономической системы. Так как λ_1 – простое собственное значение, $(\mathbf{A} - \lambda\mathbf{I})$, то, на основе теории линейных уравнений [3], в качестве компонент собственного вектора x можно взять

$$(A_{n1}, A_{n2}, \ldots, A_{nn}), \tag{18}$$

где A_{ni} – алгебраическое дополнение (n, i)-го элемента $(\mathbf{A} - \lambda_1\mathbf{I})$, и, следовательно, A_{ni} – это полиномы по λ_1 степени не выше (n – 1).

Применим этот результат к простому собственному значению $\lambda_1(\varepsilon)$ матрицы $(\mathbf{A} + \varepsilon\mathbf{B})$. Введем обозначение: $\mathbf{x_1}$ – собственный вектор матрицы **A**; $\mathbf{x_1(\varepsilon)}$ – собственный вектор матрицы $(\mathbf{A} + \varepsilon\mathbf{B})$. Тогда элементы вектора $\mathbf{x_1(\varepsilon)}$ – это полиномы по $\lambda_1(\varepsilon)$ и ε, и так как степенной ряд для $\lambda_1(\varepsilon)$ сходится при заданных ε, то каждый элемент $x_1(\varepsilon)$ представим сходящимся степенным рядом по ε, постоянный член в котором – это соответствующий элемент вектора x_1. Отсюда

$$x_1(\varepsilon) = x_1 + \varepsilon z_1 + \varepsilon^2 z_2 + \ldots \tag{19}$$

где каждая компонента векторного ряда (19) в правой части – сходящийся степенной ряд по ε.

Аналогично результату (17) для собственного значения, получает результат для собственного вектора.

Рассмотрим более сложный случай: матрица **A** имеет элементарные делители. В этом случае существует система правых и левых собственных векторов $\mathbf{x}_1$, $\mathbf{x}_2, \ldots, \mathbf{x}_n$ и $\mathbf{y}_1, \mathbf{y}_2, \ldots, \mathbf{y}_n$ таких, что

$$\mathbf{y}_i^T\mathbf{x}_j = 0 \quad (i \neq j), \tag{20}$$

Хотя эти векторы единственны, если все собственные значения простые [1, 2, 3].

Выразим каждый вектор $\mathbf{z}_i$ в (19) через $\mathbf{x}_j$ в виде

$$\mathbf{z}_i = \sum_{j=1}^{n} S_{ij}\mathbf{x}_j , \tag{21}$$

Тогда имеем

$$\mathbf{x}_1(\varepsilon) = \mathbf{x}_1 + \varepsilon\sum_{j=1}^{n} S_{j1}\mathbf{x}_j + \varepsilon^2\sum_{j=1}^{n} S_{j2}\mathbf{x}_j + \ldots \tag{22}$$

и, собирая вместе члены с $\mathbf{x}_j$, получим

$$\mathbf{x}_1(\varepsilon) = (1 + \varepsilon S_{11} + \varepsilon^2 S_{12} + \ldots)\mathbf{x}_1 + \\ + (\varepsilon S_{21} + \varepsilon^2 S_{22} + \ldots)\mathbf{x}_2 + \ldots + (\varepsilon S_{n1} + \varepsilon^2 S_{n2} + \ldots)\mathbf{x}_n \tag{23}$$

Сходимость n степенных рядов, стоящих в скобках, есть простое следствие абсолютной сходимости рядов (19).

Получим точное значение выражения для возмущения первого порядка в терминах правых и левых собственных векторов (20). Обозначим

$$S_i = \mathbf{y}_i^T\mathbf{x}_j, \quad i = \overline{1,n} \tag{24}$$

где $\mathbf{y}_j$ и $\mathbf{x}_j$ – нормированные левые и правые собственные векторы.

Если $\mathbf{y}_j$ и $\mathbf{x}_j$ вещественные, то S_i есть косинус угла между этими векторами [2, 3]. В любом случае $|S_i| = |\mathbf{y}_i^T\mathbf{x}_j| \le \|\mathbf{y}_i\|_2 \cdot \|\mathbf{x}_j\|_2 = 1$, где $\|\mathbf{y}_i\|_2, \|\mathbf{x}_j\|_2$ - эвклидовы нормы векторов.

Для нормированных векторов формула (23) будет иметь вид:

$$\mathbf{x}_1(\varepsilon) = \mathbf{x}_1 + (\varepsilon\, t_{21} + \varepsilon^2\, t_{22} + \ldots)\mathbf{x}_2 + \\ + \ldots + (\varepsilon\, t_{n1} + \varepsilon^2\, t_{n2} + \ldots)\mathbf{x}_n . \quad (25)$$

Определим величину

$$\beta_{ij} = \mathbf{y}_i^T \mathbf{B} \mathbf{x}_j \quad (26)$$

$$\left|\beta_{ij}\right| = \left|\mathbf{y}_i^T \mathbf{B} \mathbf{x}_j\right| \le \left\|\mathbf{B}\right\|_2 \left\|\mathbf{y}_i\right\|_2 \left\|\mathbf{x}_j\right\|_2 \quad (27)$$

По определению

$$(\mathbf{A} + \varepsilon\mathbf{B})\, \mathbf{x}_1(\varepsilon) = \lambda_1(\varepsilon)\mathbf{x}_1(\varepsilon) \quad (28)$$

и так как $\lambda_1(\varepsilon)$ и все компоненты вектора $\mathbf{x}_1(\varepsilon)$ представляются сходящимися степенными рядами, можно приравнять члены при одинаковых степенях ε в этом уравнении и используя (17) и (27), получим

$$\mathbf{A}\left(\sum_{i=2}^{n} t_{i1}\mathbf{x}_i\right) + \mathbf{B}\mathbf{x}_1 = \lambda_1\left(\sum_{i=2}^{n} t_{i1}\mathbf{x}_i\right) + k_1\mathbf{x}_1 \quad (29)$$

или

$$\sum_{i=2}^{n} (\lambda_i - \lambda_1) t_{i1}\mathbf{x}_i + \mathbf{B}\mathbf{x}_1 = k_1\mathbf{x}_1 \quad (30)$$

Умножая слева на $\mathbf{Y}_1^T$ и с учетом, что $\mathbf{Y}_1^T\mathbf{x}_i = 0 \quad (i \ne 1)$, получим

$$k_1 = \frac{\mathbf{Y}_1^T\mathbf{B}\mathbf{x}_1}{\mathbf{Y}_1^T\mathbf{x}_1} = \frac{\beta_{11}}{S_1} \quad (31)$$

и, следовательно,

$$\left|k_1\right| \le \frac{n}{\left|S_1\right|} \quad (32)$$

Умножая (30) слева на $\mathbf{Y}_i^T$, получим

$$(\lambda_i - \lambda_1) t_{i1} S_i + \beta_{i1} = 0 \quad (i = 2, 3, \ldots, n) \quad (33)$$

и, следовательно, из (25) следует, что член первого порядка в возмущении x_1 имеет вид

$$\varepsilon\left[\frac{\beta_{21}x_2}{(\lambda_1-\lambda_2)S_2} + \frac{\beta_{31}x_2}{(\lambda_1-\lambda_3)S_3} + \\ + \ldots + \frac{\beta_{n1}x_n}{(\lambda_1-\lambda_n)S_n}\right] = \varepsilon\sum_{i=2}^{n}\frac{\beta_{i1}}{S_i(\lambda_1-\lambda_i)}x_i \quad (34)$$

Рассматривая собственные векторы, мы раскладываем их возмущения на компоненты в направлениях $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \ldots, \mathbf{x}_n$. Когда $\mathbf{x}_i$ ортогональны, (это имеет место когда имеем n элементарных делителей), то можно оценить отклонения экономической системы при заданных возмущениях ε. В качестве ε можно взять коэффициенты инфляции. При больших значениях косинуса угла между векторами $\mathbf{x}_i^T(\varepsilon), \mathbf{x}_i$ составляющие векторов практически совпадают и система устойчива к возмущениям. Случай кратных собственных значений и нелинейных делителей матриц **A** и **B** может быть исследован с переходом к каноническим формам Жордана и использованием теорем Гершгорина [1, 2, 4].

ВЫВОДЫ:

1. При простом собственном значении матрицы материальных затрат **A** исследование влияния возмущений на матрицы внутренних инвестиций **B** и материальных затрат **A** может быть сведено к нахождению косинуса угла между векторами $\mathbf{x}_1$ и $\mathbf{x}_1(\varepsilon)$.

2. При наличии n элементарных делителей матрицы **A** исследование влияния возмущения ε может быть сведено к нахождению косинусов углов между собственными векторами, соответствующих различным собственным значениям. Малые значения косинусов между $\mathbf{x}_i(\varepsilon)$ и $\mathbf{x}_i$ будет означать значительный дрейф экономической системы под действием инфляции.

3. Случай кратных собственных значений и нелинейных делителей требует более сложного исследования с привлечением кроме теории возмущений и алгебраических функций математического аппарата канонических форм Жордана [1].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Арнольд В.И. О матрицах, зависящих от параметров //Успехи математических наук. – 1971. – Т.XXVI, Вып. 2 (158). – С.101-114.
2. Б.Л. ван дер Варден. Алгебра. – М.: Наука, 1976.
3. Ф.Р. Гантмакер. Теория матриц. – М.: Наука, 1988.
4. П. Ланкастер. Теория матриц. – М.: Наука, 1978.
5. Р. Гилмор. Прикладная теория катастроф. Т. 1. – М.: Мир, 1984.
6. Основы теории оптимального управления /Под ред. Кротова В.Ф. – М.: Мир, 1984.

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБОБЩЕНИЙ

УДК 519+61:681.3

ПРОКОПЧУК Юрий Александрович

к.ф.-м.н., доцент, с.н.с. отдела системного анализа и проблем управления Института технической механики НАНУ и НКАУ.

Научные интересы: интеллектуальные и когнитивные системы, базы знаний.

e-mail: itk3@ukr.net

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

Большинство сложных процессов обладают объективной неопределенностью и слабой формализацией, что обуславливает непрерывное развитие инструментария анализа и прогностики временных рядов (ВР). Наряду с традиционными методами (статистическими, нейросетевыми) все чаще используются интеллектуальные методы, которые в последние десятилетия оформились в виде отдельного направления, называемого Times-Series Data Mining. Большое развитие получили методы нечеткой регрессии, анализа данных нечетких временных рядов [1, 2].

Несмотря на значительное развитие указанных выше методов, многие важные вопросы остаются открытыми. Ясно, что для разных заключений, формируемых в результате анализа/прогноза, определяющую роль могут играть разные первичные и производные параметры многомерного ВР, измеряемые с разной степенью точности (заранее неизвестной). Вместе с тем статистические, нейросетевые и нечеткие методы фактически работают с одним уровнем общности описания ВР. Каким образом можно учесть в моделях множество уровней общности описания первичных и производных значений ВР? Существуют ли критические наброски ВР, которые минимально достаточны для решения целевой задачи? Нераскрыты процессы *самоорганизации* при формировании результирующих моделей интерпретации ВР. Требуемые модели, по-видимому, должны появляться в результате когнитивной самоорганизующейся критичности, следовательно, они являются существенно неравновесными моделями (система мониторинга открытая). Как запустить процессы самоорганизации моделей? Как формируется «опыт» решения целевых задач? Важным вопросом является обеспечение высокой *пластичности* решения целевых задач (в условиях возможной неполноты априорных данных). Эти и другие вопросы разрешаются в рамках применения Принципа предельных обобщений (ППО) [3].

Задачами настоящего исследования являются:

– выяснение сути когнитивного подхода к анализу ВР;

– описание схемы применения ППО к анализу и прогнозированию (многомерных) ВР;

– демонстрация с помощью программных прототипов возможности реализации предложенных структур в рамках интеллектуальных приложений.

ОНТОЛОГИЯ КОГНИТИВНОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ ВР

При изучении феноменологического пространства наблюдателя базовым предположением является предположение о существовании единого *универсального принципа структурирования информации* (этот принцип закладывался в "устройство" мышления с эволюционным возникновением самого мышления). Именно благодаря этому общему принципу происходит сопряжение (непосредственное или опосредованное)

любой мыслительной структуры с любой другой, и любого уровня информационной масштабности. Следствием универсального принципа структурирования информации являются модели двух взаимосвязанных информационных объектов: *орграфа набросков* (образов, моделей, ситуаций) и *динамического системопаттерна* (или сокращенно – *системопаттерна*). Разновидностью орграфа набросков является орграф доменов элементарного теста (домен – множество значений теста со связями наследования) [3].

Орграфы набросков разных типов и системопаттерны позволяют находить предельные по уровню обобщенности когнитивные структуры, однозначно решающие целевые задачи. Кроме того, орграфы набросков приводят к суперпозиции смыслов в интерпретации образов, а также квантово-семантической запутанности разных образов. В этом заключается суть «Принципа предельных обобщений» [3]. Основная гипотеза состоит в том, что ППО олицетворяет «встроенную» *оптимальность мышления*. Эволюционная обоснованность гипотезы заключается в стремлении когнитивной системы к глобальному энергетическому минимуму: если система оперирует меньшим адекватным объемом информации, ей требуется для этого меньше энергии, памяти и она может это делать с большей скоростью. Обсуждаемые теоретические представления созвучны с развиваемыми нейрофизиологами положениями об иерархическом принципе интеграции скоростных, медленных и сверхмедленных информационно-управляющих систем головного мозга, формируемых для обеспечения психических состояний и познавательной деятельности человека, включая вербальную ассоциативно-мыслительную деятельность [5]. Рассмотрим общую схему применения ППО к анализу (многомерных) ВР.

Пусть $\{\tau\}$ – множество элементарных тестов, с помощью которых описывается любая ситуация действительности, включая многомерный ВР. Элементарность теста означает, что его результат может быть представлен в виде «тест = значение». Конкретный результат теста τ будем обозначать $\underline{\tau}$. Значения тестов могут выбираться из разных доменов. Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста τ используется домен T, будем использовать нотацию: τ/T. Используя разные домены, можно управлять общностью (масштабом) результата одного и того же теста. Правила пересчета значений теста из одного домена в другой задает *ориентированный граф доменов:* $G(\tau) = \{T \rightarrow T'\}_\tau$. Банк тестов представляет собой $\{G(\tau)\}$. Он может служить системой координат феноменологического пространства. Для элементов обобщающих доменов могут быть заданы функции принадлежности, что позволяет рассматривать нечеткие временные ряды [3]. Таким образом, в зависимости от контекста задачи на основе одного и того же банка тестов $\{G(\tau)\}$ могут быть реализованы нечеткие, интервальные, лингвистические, фрактальные, гранулярные операции.

Событием называется кортеж $<\underline{\tau}/T, \underline{t}/\Lambda>$, где $\underline{t}/\Lambda$ – время, задаваемое орграфом $G(t)$. Примеры доменов Λ:

$\Lambda 1$= 'Дата: время'; $\Lambda 2$= 'Дата: {утро, день, вечер, ночь}'; $\Lambda 3$ = 'Дата'; $\Lambda 4$ = 'Месяц, Год'; $\Lambda 5$ = 'Год'.

Примеры значений времени:

$\underline{t}/\Lambda 1$ = '10.01.09: 08.30', $\underline{t}/\Lambda 2$ = '10.01.09: утро', $\underline{t}/\Lambda 3$ = '10.01.09', $\underline{t}/\Lambda 4$ = 'январь, 2009', $\underline{t}/\Lambda 5$ = '2009'.

Вполне очевиден способ задания пересчета значений из одного домена в другой (с большим номером), т.е. определен орграф доменов: $G(t)$=$\{\Lambda 1 \rightarrow \Lambda 2 \rightarrow \Lambda 3 \rightarrow \Lambda 4 \rightarrow \Lambda 5\}$. Пример другого орграфа доменов $G(t)$:

$\Lambda 1$= 'Дата: время'; $\Lambda 2$= {1; 2;…; 24}; $\Lambda 3$= {1; 2;…; 7}. $G(t)$=$\{\Lambda 1 \rightarrow \Lambda 2; \Lambda 1 \rightarrow \Lambda 3\}$.

Правила пересчета: $\Lambda 1.t \rightarrow \Lambda 2.Hour(t)$ –текущий час; $\Lambda 1.t \rightarrow \Lambda 3.DayOfWeek(t)$ – текущий день недели. Можно объединить оба орграфа в один орграф.

Если через $\{p/P\}$ обозначить дополнительные параметры – уточняющие тесты, то расширенная трактовка элементарных событий примет вид составных событий: $e_1 = <\underline{\tau}/T, \{\underline{p}/P\}, \underline{t}/\Lambda>$. Например, если событие локализовано к какой-либо точке пространства $\{x/X, y/Y, z/Z\}$, то можно записать: $e = <\underline{\tau}/T, \{\underline{x}/X, \underline{y}/Y, \underline{z}/Z\}, \underline{t}/\Lambda>$.

Протяженным событием называется событие $e = <\underline{\tau}/T, \underline{\delta}/\Lambda>$, где $\underline{\delta}$ – произвольный временной интервал (возможно, не односвязный). Пример протяженного события: <Креатинин / {мг / 100 мл}? 1.3, [12.02.09; 14.02.09]/$\Lambda 3$>, где δ = [12.02.09; 14.02.09] (в

терминах домена $\Lambda 3$). Ясно как определить нечеткое событие и нечеткое протяженное событие.

Произвольный временной ряд $\varphi(t)$ в дискретные моменты времени представим в виде множества событий $\{<\underline{\varphi}, \underline{t}>\}$, а учитывая, что значения теста φ обобщаются с помощью орграфа доменов $G(\varphi)$, можно записать: $\{<\underline{\varphi}//\Phi, \underline{t}/\Lambda>\}$ – обобщенный временной ряд. Моменты времени могут входить в название теста, поэтому любой временной ряд представим в виде множества $\{\underline{\tau}/T\}$. Многомерный временной ряд обозначим $\{\varphi(t)\}$. Для любого ВР $\{<\underline{\varphi}//\Phi, \underline{t}/\Lambda>\}$ может быть выполнена грануляция (разбиение или покрытие) в виде множества протяженных событий - тенденций: $\{<\underline{\psi}//\Psi, \underline{\delta}/\Lambda>\}$. Грануляция может быть выполнена нечеткими тенденциями [1]. Важно отметить, что грануляция может проводиться разными способами. Многообразие возможностей отражает множественность точек зрения на один и тот же процесс.

Рассмотрим пример. Зададим орграф доменов теста «Скорость» следующим образом (в формате конфигуратора [3]):

v – Скорость {

V5 #V2 {Большая ^c; *не* Большая ^a b}

V4 #V2 {Средняя ^b; *не* Средняя ^a c}

V3 {Маленькая ^a; *не* Маленькая ^b c}

V2 {Маленькая ^a [0; 3,0]; Средняя ^b (3,0; 7,0]; Большая ^c (7,0; 10,0]}

V1 {[0; 10,0]}

Орграф $G(v) = \{V1 \rightarrow V2 \rightarrow V3; V2 \rightarrow V4; V2 \rightarrow V5\}$.

Домен V1 является базовым (наиболее точным). Все остальные домены являются набросками базового домена. Орграф $G(v)$ является структурно-завершенным орграфом, в котором вершины V3, V4, V5 – домены-листья (рис. 1).

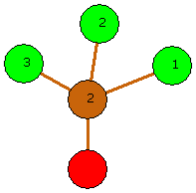


Рисунок 1 – Орграф доменов теста «Скорость»

Исходный временной ряд $v(t)$ зададим в терминах базового домена:

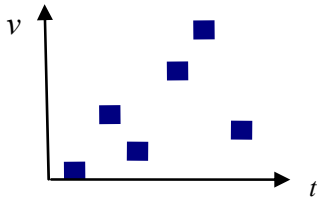
$v(t) = \{v(1)?1; v(2)?4; v(3)?2; v(4)?6; v(5)?8; v(6)?3\} \equiv \{<\underline{v}/V1, \underline{t}/\Lambda 1>\} \equiv \{<v/V1?1, t/\Lambda 1?1>; <v/V1?4, t/\Lambda 1?2>; <v/V1?2, t/\Lambda 1?3>; <v/V1?6, t/\Lambda 1?4>; <v/V1?8, t/\Lambda 1?5>; <v/V1?3, t/\Lambda 1?6>\}$.

Если время оставить неизменным, то ряд скоростей из шести значений можно представить 30-ю способами: $6 \times |G(v)| = 6 \times 5 = 30$. Приведем примеры двух обобщенных рядов (опуская время):

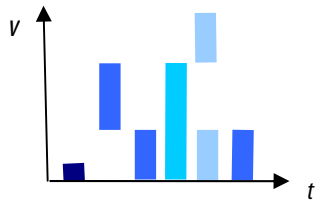
Набросок 1: <*v*/V1?1; *v*/V2?Средняя; *v*/V3?Маленькая; *v*/V5?*не* Большая; *v*/V4? *не* Средняя; *v*/V2? Маленькая>;

Набросок 2: <*v*/V5? *не* Большая; *v*/V5? *не* Большая; *v*/V5? *не* Большая; *v*/V5?*не* Большая; *v*/V5? Большая; *v*/V5? *не* Большая>.

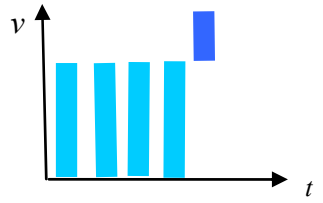
Примеры двух обобщений одного и того же исходного ряда изображены на рис. 2 (чем темнее цвет, тем точнее значение ВР).



а) Исходный ряд



б) Набросок 1



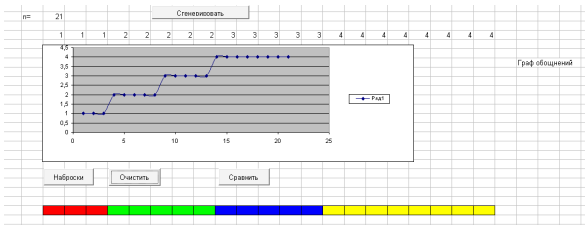
в) Набросок 2

Рисунок 2 – Наброски временного ряда

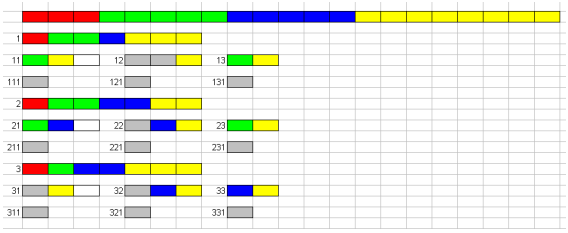
Двадцать девять вариантов обобщения исходного временного ряда являются его набросками. Все 30 вариантов образуют одну из разновидностей орграфа набросков $Gs(v(t))$, которая опирается на автоматизмы обобщений в рамках орграфа доменов $G(v)$ [3]. Если

учесть орграф $G(t)$, то пространство обобщающих описаний (набросков) значительно расширяется. Пример события: <*v*/V2? Средняя, $\underline{t}/\Lambda$2? 10.01.09: утро>. Отметим, что при обобщении по времени может появиться неопределенное значение теста (морфология), например: <$\underline{\varphi}//\Phi$? Неопределенное, $\underline{t}/\Lambda$3>.

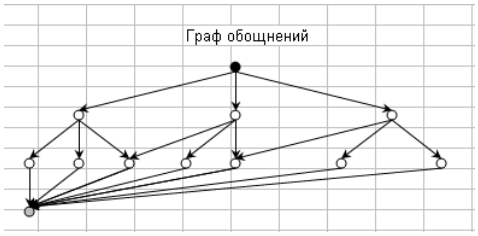
Помимо орграфа набросков $Gs(\varphi(t))$ на основе банка тестов для любого ВР могут строиться орграфы набросков $Gs_{\Sigma}(\varphi(t))$ на основе разнообразных схем Σ «грануляции – сжатия» (рис. 3, схема Σ[3:2], серый цвет – морфология) [3]. К числу таких схем относятся и схемы с выделением *тенденций* (об этом речь пойдет ниже).



а) Задание и кодирование цветом ВР



б) Построение набросков ВР



в) Орграф набросков ВР

Рисунок 3 – Наброски временного ряда на основе схемы «грануляция-сжатие»

В работе [3] показано, что в рамках заданного контекста задачи (базы прецедентов и банка тестов) на основе орграфов набросков определяются экстремальные пограничные слои набросков, котрые содержат минимальный объем информации достаточный для однозначного решения целевой задачи.

Обозначим через Z={1,…, N} множество заключений, имеющих отношение к временному ряду $\varphi(t)$ или многомерному временному ряду $\{\varphi(t)\}$. Примеры Z: Z = {Норма; Отклонение}; Z = {Хаотический режим (осцилляция); Стабильный режим; Качественная прерывность (разрушение)}; Z = {Рост; Падение; Стабилизация; Колебания; Хаос} – тенденции ВР; Z = {Резкий рост; Рост; Стабильность; Падение; Резкое падение} - тенденции линейных трендов; Z = {Низкий риск (осложнения, банкротства, аварии, отказа); Средний риск; Высокий риск}; $Z = \Phi$, где Φ – домен из $G(\varphi)$.

АНАЛИЗ/ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВР НА ОСНОВЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗНАНИЙ

Рассмотрим следующую задачу: для заданного ВР $\varphi(t)$ или многомерного ВР $\{\varphi(t)\}$ определить заключение $\underline{z}/Z$.

Данную задачу будем решать путем предварительного построения предельных синдромных и вероятностных моделей знаний. Предельные модели знаний применяются для решения исходной задачи. Опишем кратко процедуру построения предельных моделей [3, 4].

Пусть $\Omega(\{\tau/T\}) = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)\}$ – множество ситуаций действительности (база прецедентов) с известными заключениями. Частным случаем базы прецедентов является множество ситуаций $\{\alpha(\{\varphi(t)\}, \underline{z}/Z)\}$ или $\{\alpha(\{<\underline{\varphi}//\Phi,\ \underline{t}/\Lambda>\}, \underline{z}/Z)\}$. Будем говорить, что множество Ω не содержит *конфликтов* на уровне общности $\{\tau/T\}$, если нет двух ситуаций с разными заключениями, но совпадающими значениями тестов (совпадающими значениями временных рядов).

Под *формальным синдромом* (или просто *синдромом*) понимается неизбыточная совокупность значений тестов, позволяющая однозначно установить заключение: $S = (\{\underline{\tau}/T\} \rightarrow \underline{z}/Z)$. С каждым синдромом S связано «облако» предельных синдромов $\{S^*\}$, которое получается путем всех допустимых обобщений в рамках $\{G(\tau)\}$. *Предельный синдром* S^* является предельным в трех смыслах: его нельзя усилить, т.е. повысить ранг; его нельзя редуцировать и его нельзя обобщить ни по одному входящему тесту. В случае с ВР $v(t)$ имеем шесть однотипных тестов, задаваемых орграфом $G(v)$. В

общем случае, многомерный ВР $\{\varphi(t)\}$, где $t = 1,\ldots, M$, задается $|\{\varphi(t)\}|\times M$ тестами с орграфами $\{G(\varphi)\}$.

Совокупность синдромов $\{S\}$ образует *синдромную модель знаний*, если она позволяет определить заключение, как минимум, для любой ситуации действительности из $\Omega(\{\tau/T_0\})$ – априорного описания. Синдромная модель знаний *минимальна*, если из нее нельзя удалить ни один синдром без потери полноты охвата прецедентов из $\Omega(\{\tau/T_0\})$. Для любой синдромной модели знаний $\{S\}$ можно построить *сопряженную предельную модель* $\{S^*\}$. Можно также найти все предельные синдромы на всех уровнях общности для каждой ситуации $\alpha \in \Omega$. Их объединение представляет собой *полную предельную синдромную модель знаний* в рамках контекста $<\Omega, \{G(\tau)\}>$, которую обозначим $\{S^*\}_{Full}$. На основе $\{S^*\}_{Full}$ могут быть построены (*абсолютно*) *минимальные предельные синдромные модели знаний* $\{S^*\}^*_{Min}$. Модель $\{S^*\}_{Full}$ доминирует все другие модели. Можно найти все $\{S^*\}^*_{Min}$, которые эквивалентны $\{S^*\}_{Full}$.

Помимо синдромов речь также может идти о вероятностных закономерностях $\{R\}$ и сопряженных предельных вероятностных закономерностях $\{R^*\}$, которые являются ранними предвестниками событий. *Вероятностной закономерностью* появления заключения $\underline{z}/Z$ назовем правило вида

$$R = (\{\underline{\tau}/T\} \rightarrow J_z\, \underline{z}/Z), \quad p(R) \geq p^*, \; \upsilon_R = \upsilon(R),$$

где $\{\underline{\tau}/T\}$ – неизбыточная совокупность значений тестов; J_z и $p(R)$ – ранг или вероятность получения заключения $\underline{z}/Z$ при условии $\{\underline{\tau}/T\}$; p^* – порог (например, 0.9); υ_R – вес правила, пропорциональный количеству прецедентов с заключением $\underline{z}/Z$, отвечающих правилу R. По аналогии с $\{S^*\}_{Full}$ строится предельная модель $\{R^*\}_{Full}$. Предельные модели знаний являются результатом когнитивной самоорганизующейся критичности.

Если необходимо повысить точность искомой закономерности, то либо расширяется само Z (исходный интервал значений целевого показателя разбивается на большее число подинтервалов), либо указанная процедура (формирование Z и построение предельных моделей знаний) повторяется для найденного подинтервала. Таким образом, получаем иерархическую процедуру определения требуемой закономерности заданного уровня точности.

Для ВР φ могут существовать ряды производных φ' и φ'', и соответственно, орграфы доменов тестов $G(\varphi')$, $G(\varphi'')$. Могут быть определены также орграфы набросков $Gs(\varphi)$, $Gs(\varphi')$, $Gs(\varphi'')$, $Gs_\Sigma(\varphi)$, $Gs_\Sigma(\varphi')$, $Gs_\Sigma(\varphi'')$, $Gs_\Sigma(\{\varphi\}, \{\varphi'\}, \{\varphi''\})$. Всю совокупность вторичных (вычисляемых) данных для ВР $\varphi(t)$ назовем *информационным множеством* $I(\varphi)$. Соответственно для многомерного ВР $\{\varphi(t)\}$ получим $I(\{\varphi\})$. Информационные множества позволяют перейти от $\{\alpha(\{\varphi\}, \underline{z}/Z)\}$ к $\{\alpha(\{\varphi\}, I(\{\varphi\}), \underline{z}/Z)\}$, что значительно обогащает возможности анализа и прогнозирования за счет построения более совершенных моделей знаний.

Определим скорость изменения значения произвольного теста τ. Пусть известны два события $<\underline{\tau}/T, \underline{t}/\Lambda>$ и $<\underline{\tau}'/T, \underline{t}'/\Lambda>$ таких, что $\underline{t}/\Lambda < \underline{t}'/\Lambda$. Если выполняется условие:

$$|\underline{t}' - \underline{t}|/\Lambda' \leq \Delta_\tau/\Lambda', \qquad (1)$$

где Δ_τ/Λ' – параметр, зависящий от теста, то определим новое событие

$$e' = <(\underline{\tau}\uparrow \underline{\tau}')/T, (\underline{t}' - \underline{t})/\Lambda', \underline{t}/\Lambda>, \qquad (2)$$

которое характеризует скорость изменения значения теста (упрощенное дифференцирование). Оператор изменения «↑» зависит от теста. Во многих случаях удобно ввести производный тест «$\Delta\tau$», положив: $\Delta\underline{\tau}/T' = (\underline{\tau}' - \underline{\tau})/T'$. Выражение (2) перепишется следующим образом:

$$e' = <\Delta\underline{\tau}/T', \Delta\underline{t}/\Lambda', \underline{t}/\Lambda>. \qquad (3)$$

Для теста $\Delta\tau$ должен быть определен орграф $G(\Delta\tau)$, относящийся к свойствам теста τ. Параметры $\{\Delta_\tau/\Lambda'\}$ также принадлежат к числу свойств теста τ. Приведем примеры [3]:

<Креатинин? 1.3, 12.02.11/Λ3>, <Креатинин? 1.7, 13.02.11/Λ3>;

$e' = <$Креатинин? 1.3↑1.7, сутки, 12.02.11/Λ3$>$;

$e' = <\Delta$Креатинин? 0.4, сутки, 12.02.11/Λ3$>$.

<АДс? 130, 12.02.11:12.00/Λ1>, <АДс? 155, 12.02.11:15.00/Λ1>;

$e' = <$АДс? 130↑155, 3 часа, 12.02.11:12.00/Λ1$>$;

$e' = <\Delta$АДс? 25, 3 часа, 12.02.11:12.00/Λ1$>$.

$e' = <\Delta$АДс/D2? Большое, $\Delta\underline{t}/\Lambda$2? Малое, 12.02.11:12.00/Λ1>.

Не всегда изменение теста можно выразить в числовом виде. Пример:

<МОКРОТА.Цвет? белая, 17.04.11/Λ3>; <МОКРОТА.Цвет? желтоватая, 18.04.11/Λ3>;

e' = <МОКРОТА.Цвет? белая↑желтоватая, сутки, 17.04.11/Λ3>;

e' = <ΔМОКРОТА.Цвет/{Есть; Нет]? Есть, сутки, 17.04.11/Λ3>.

С помощью производного события «Изменение» можно устанавливать качественные прерывности в динамике тестов. Такой «рекурсивный» подход открывает новое пространство признаков (тестов), явно не присутствующих в предметной области, что расширяет границы информационных множеств.

Один из самых ярких результатов теории самоорганизации состоит в понимании существования некой грани, до которой мы можем предвидеть будущее состояние процесса. За этой гранью мы вынуждены оставаться в области вероятных сценариев. Важнейшее положение анализа ВР на основе ППО заключается в том, что для каждого наброска процесса $\{\underline{x}(t)/X\}$ эта грань своя.

АНАЛИЗ ТЕНДЕНЦИЙ

Анализ тенденций может быть частью построения информационного множества $I(\varphi)$. Действительно, анализ тенденций порождает протяженные события вида $<\underline{\tau}/T, \underline{\delta}/\Lambda>$, где $\underline{\delta}$ – произвольный временной интервал. Последние играют важную роль в поиске закономерностей и предвестников угрожающих состояний. С методологической точки зрения важно определить легко масштабируемый тест «Тенденция».

Бинарное отношение $<$ на множестве R называют отношением строгого порядка, если оно транзитивно ($x < y \wedge y < z \Rightarrow x < z$) и антисимметрично ($x < y \wedge y < x \Rightarrow x = y$). Обобщим данное определение на произвольный домен T орграфа $G(\tau)$.

Элементы домена T могут содержать любые подмножества базового домена T_0, а именно: множества чисел, интервалов, термов. Будем говорить, что на домене T орграфа $G(\tau)$ задано бинарное отношение (строгого) порядка $\{<; >\}$, если оно транзитивно и антисимметрично. Для любых элементов $a, b \in T$ можно записать: $a < b$ или $a > b$ (элементы домена не могут совпадать). Примеры. Пусть $a = \{1\ 2\ 5\}$, $b = \{8\ 9\ 10\}$, $c = \{4\ 7\}$. Ясно как трактовать: $a < b$ (любой элемент из a меньше любого элемента из b) и $c < b$, но между a и c нет отношения порядка. Пусть $a = \{[1, 3]\ [5, 8]\}$, $b = \{[9, 11]\ (11, 15]\}$. Ясно как трактовать: $a < b$. Пусть $a =$ «слабый рост (показателя)», $b =$ «сильный рост». Ясно как трактовать: $a < b$ (сравниваются интенсивности качества).

***Предложение* 1**. Все домены произвольного орграфа $G(\tau)$ делятся на два каласса: домены, на которых можно задать отношение порядка, и домены, на которых нельзя задать отношение порядка. Один из классов может быть пустым.

Рассмотрим два примера орграфов доменов.

Пример 1. Зададим орграф $G(\tau) = \{D0 \rightarrow D1 \rightarrow D2\}$ следующим образом:

D0 {1; 2; 3; 4; 5} → D1 {2; 1 3; 4; 5} → D2 {1 2 3; 4; 5}

Легко видеть, что на доменах D0 и D2 можно задать порядок, а на промежуточном домене D1 нет. Данный пример показывает, что если на домене D определено отношение порядка, то это не означает, что на любом более точном домене D′: D′ → D также определено отношение порядка.

Вместе с тем, даже если на всем домене нельзя задать отношение порядка, то вполне возможно, что такое отношение можно задать на его подмножестве, например, на подмножестве {1 3; 4; 5} домена D1 можно задать отношение порядка. Зададим временной ряд из трех значений: $\{\varphi(t)/D1\} = \{\varphi(1)/D1?\ 1\ 3;\ \varphi(2)/D1?\ 4;\ \varphi(3)/D1?\ 5\}$. ВР принимает значения не из всего домена, а только той его части, на которой можно определить отношение порядка. В результате устанавливается тенденция «рост» на D1. Данный пример иллюстрирует общее правило.

Пример 2. Зададим орграф $G(\varphi) = \{T0\}$ следующим образом: T0 = {1; 2; 3}. Построим структурно-завершенный орграф $G^+(\varphi) = \{T0 \rightarrow T1;\ T0 \rightarrow T2;\ T0 \rightarrow T3\}$:

$G^+(\varphi) =$ {T3 # T0 {3; 1 2} T2 # T0 {2; 1 3} T1 {1; 2 3} T0 {1; 2; 3}}

Домены-вершины T1, T2, T3 являются листьями. Легко убедиться, что на доменах T0, T1, T3 можно задать отношение порядка, а на домене T2 нельзя.

Зададим временной ряд из трех значений: $\{\varphi(t)/T0\} = \{\varphi(1)/T0?\ 1;\ \varphi(2)/T0?\ 2;\ \varphi(3)/T0?\ 3\}$. Ряд $\{\varphi(t)/T0\}$ показывает четкую тенденцию «роста». Ту же

монотонную тенденцию показывают наброски {$\varphi(t)$/T1} и {$\varphi(t)$/T3}, в частности, {$\varphi(t)$/T3} = {φ(1)/T3? 1 2; φ(2)/T3? 1 2; φ(3)/T3? 3}. Однако про тенденцию ряда {$\varphi(t)$/T2} = {φ(1)/T2? 1 3; φ(2)/T2? 2; φ(3)/T2? 1 3} практически ничего определенного сказать нельзя: может быть «рост», «падение» и «колебания». На основе ряда {$\varphi(t)$/T2} можно сделать вывод только о том, что «нет стабильности».

Зададим несколько иной временной ряд: {$\varphi(t)$/T0} = {φ(1)/T0? 2; φ(2)/T0? 1; φ(3)/T0? 3}. На базовом уровне имеет место «колебание» в то время как обобщенный набросок {$\varphi(t)$/T3} = {φ(1)/T3? 1 2; φ(2)/T3? 1 2; φ(3)/T3? 3} демонстрирует «рост». Набросок {$\varphi(t)$/T1} = {φ(1)/T1? 2 3; φ(2)/T1? 1; φ(3)/T1? 2 3} также демонстрирует «колебание», а на основе наброска {$\varphi(t)$/T2} = {φ(1)/T2? 2; φ(2)/T2? 1 3; φ(3)/T2? 1 3} можно сделать вывод только о наличии качественной прерывности. В итоге получаем «спектр заключений» на всех уровнях общности описания ВР, который включает «рост», «колебание», «нестабильно» и т.д. Важно отметить, что все заключения справедливы *одновременно*. Другими словами, имеет место суперпозиция смыслов (значений).

Разные уровни обобщения ВР позволяют более точно определить понятия «сходства» и корреляции между рядами, включая сходство тенденций. Данные понятия имеют смысл только в рамках фиксированного уровня общности описания ВР. Сколько уровней общности описания ВР столько и мер сходства. Так ряды {1, 2, 3} и {2, 1, 3} полностью совпадают в рамках домена T3.

Пусть тест x задан орграфом доменов $G(x)$. Для любого домена X можно рассмотреть временной ряд $\{\underline{x}/X\ (t)\} \equiv \{\underline{x}(t)/X\}$. Пусть на X определено отношение порядка. *Элементарная тенденция* (ЭТ) между двумя соседними значениями ВР $\{\underline{x}(t)/X\}$ на базовом уровне общности орграфа G(ЭТ) принимает только три значения: «рост» - ЭТ$\uparrow$ ($\underline{x}'/X > \underline{x}/X$), «падение» - ЭТ$\downarrow$ ($\underline{x}'/X < \underline{x}/X$), «стабильно» ($\underline{x}'/X = \underline{x}/X$). Может быть построен структурно-завершенный орграф G^{+}(ЭТ), который по виду совпадает с орграфом $G^{+}(\varphi)$.

Любая *локальная тенденция* (ЛТ) определяется на основе известной последовательности более мелких локальных тенденций, в частности элементарных тенденций. Если локальная тенденция охватывает весь временной интервал, то она становится *общей тенденцией*. Определим шесть базовых значений ЛТ ВР $\{\underline{x}(t)/X\}$ на отрезке $[t, t']$ следующим образом ($\underline{x} = \underline{x}(t), \underline{x}' = \underline{x}(t')$):

«стабильно» $\Leftrightarrow$ ($\underline{x}'/X = \underline{x}/X$) & (все ЛТ «стабильно»);

«рост» $\Leftrightarrow$ ($\underline{x}'/X > \underline{x}/X$) & (все ЛТ «стабильно» или «рост»);

«падение» $\Leftrightarrow$ ($\underline{x}'/X < \underline{x}/X$) & (все ЛТ «стабильно» или «падение»);

«колебания - стабильно» $\Leftrightarrow$ ($\underline{x}'/X = \underline{x}/X$) & $\neg$ (все ЛТ «стабильно»);

«колебания - рост» $\Leftrightarrow$ ($\underline{x}'/X > \underline{x}/X$) & $\neg$ (все ЛТ «стабильно» или «рост»);

«колебания - падение» $\Leftrightarrow$ ($\underline{x}'/X < \underline{x}/X$) & $\neg$ (все ЛТ «стабильно» или «падение»).

Определение ЛТ является рекурентным. Справедливо предложение.

***Предложение* 2**. Характер локальной тенденции инвариантен относительно разбиения ВР $\{\underline{x}(t)/X\}$ на более мелкие локальные тенденции.

Введем орграф доменов теста «Тенденция»:

Тенденция ^*tr* {

3 #1 {Итог-стабильно ^1 4; Итог-рост ^2 5; Итог-падение ^3 6}

2 {Стабильно ^1; Монотонное изменение ^2 3; Колебания ^4 5 6}

1 {Стабильно ^1; Рост ^2; Падение ^3; Колебания - стабильно ^4; Колебания - рост ^5; Колебания - падение ^6}}

$G(\text{tr}) = \{1 \rightarrow 2; 1 \rightarrow 3\}$.

На рис. 4 показан предельный структурно-завершенный орграф G^{++}(tr). Общее число вершин – 14 (зеленым или светлым цветом обозначены листья, одна вершина блуждающая). Все они участвуют в анализе тенденций, обеспечивая суперпозицию смыслов (даже те домены, на которых не определено отношение порядка).

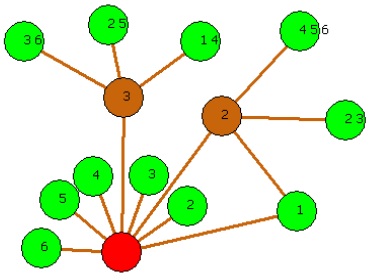


Рисунок 4 – Предельный структурно-завершенный орграф $G^{++}(tr)$

***Предложение* 3**. Если на интервале ВР [t, t'] существуют ЭТ↑ и ЭТ↓, то tr/2 = «Колебания».

***Предложение* 4**. Пусть тест x задан орграфом доменов $G(x)$ и на домене X определено отношение порядка. Если на интервале [t, t'] для ВР $\{\underline{x}(t)/X\}$ имеет место tr([t, t'])/2 = «Колебания», то для любого домена X' такого, что $X' \rightarrow X$ и на X' определено отношение порядка, верно: для ВР $\{\underline{x}(t)/ X'\}$ имеет место tr([t, t'])/2 = «Колебания».

Другими словами, повышение уровня точности описания ВР сохраняет «колебания». Выше было показано, что не на каждом домене X' может быть определено отношение порядка.

***Предложение* 5**. Общее количество масштабных уровней в смысловой суперпозиции тенденций при анализе ВР $\{\underline{x}(t)\}$ оценивается величиной $|G(x)|\cdot|G^{+}(\text{tr})|$ при условии, что все элементы ряда преобразовываются одновременно к одному уровню общности (домену).

Таким образом, при минимальных требованиях к домену (наличие отношения порядка хотя бы на части домена) удалось ввести масштабируемый тест «Тенденция». Ясно, что орграф G(tr) может иметь другой вид, нежели тот, что определен выше.

ЗАДАЧИ ПОЗНАНИЯ, ПОИСК ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

Задачи познания предметной области сводятся к задачам усиления (в логическом смысле) логической эмпирической теории за счет обнаружения аксиом на множестве эмпирических данных Ω [3, 6]. В практическом плане задача состоит в автоматическом выделении семантических образов произвольных причинно-связанных процессов из слабоструктурированных информационных потоков, отображающих реальные физические и когнитивные процессы.

Причинно-следственные связи, в частности, позволяют: определять условия и время попадания траекторий процессов в поглощающее или инвариантное множество; строить информационные множества; предсказывать катастрофы и бифуркации процессов (например, инфаркты, инсульты и т.д.); выявлять параметры порядка при анализе путей наиболее безопасного выхода из критического состояния после катастрофы; проводить анализ асимптотического поведения системы; выполнять оценку устойчивости процесса; определять дрейф структурных параметров системы.

Определим базовые структуры закономерностей (по аналогии с [6]). Под ситуацией действительности в контексте данной работы понимается информационное множество многомерного ВР – $I(\{\varphi\})$.

Утверждение «в ситуации действительности α вслед за множеством событий $\{c\}$ на временном интервале δ/Λ наблюдается событие e» запишем следующим образом: J_{+1}Exp (α, $\{c\}$, δ/Λ, e).

Утверждение «в ситуации действительности α вслед за множеством событий $\{c\}$ на временном интервале δ/Λ не наблюдается событие e» запишем следующим образом: J_{-1}Exp (α, $\{c\}$, δ/Λ, e).

Введем J-атомарные формулы с предикатным символом РС (возможная причина):

J_{+1}РС ($\{c\}$, δ/Λ, $\{\underline{\tau}/T\}$, e) будем интерпретировать как «$\{c\}$ является возможной причиной наступления e на интервале δ/Λ при условии выполнения $\{\underline{\tau}/T\}$» (+Правило для РС).

$J_{\vee}$РС ($\{c\}$, δ/Λ, $\{\underline{\tau}/T\}$, e) будем интерпретировать как «Хотя бы одно из событий $\{c\}$ является возможной причиной наступления e на интервале δ/Λ при условии выполнения $\{\underline{\tau}/T\}$» ($\vee$Правило для РС).

J_{L}РС (L($\{c\}$), e) будем интерпретировать как «Факт L($\{c\}$) является возможной причиной наступления e» (LПравило для РС).

J_{-1}РС ($\{c\}$, δ/Λ, $\{\underline{\tau}/T\}$, e) будем интерпретировать как «$\{c\}$ является возможной причиной не наступления e на интервале δ/Λ при условии выполнения $\{\underline{\tau}/T\}$» (-Правило для РС).

J_{0} РС ($\{c\}$, δ/Λ, $\{\underline{\tau}/T\}$, e) будем интерпретировать как «сведения о причинно-следственных отношениях

между {*c*} и *e* на интервале δ/Λ при условии выполнения {$\underline{\tau}/T$} противоречивы» (0Правило для РС).

$J_?$ РС ({*c*}, δ/Λ, {$\underline{\tau}/T$}, *e*) будем интерпретировать как «сведений о причинно-следственных отношениях между {*c*} и *e* на интервале δ/Λ при условии выполнения {$\underline{\tau}/T$} недостаточно» (?Правило для РС).

Условия {$\underline{\tau}/T$} действуют на множестве ситуаций действительности Ω. Условия {$\underline{\tau}/T$} могут быть фильтром, как ситуаций α, так и событий {*c*}. Условия {$\underline{\tau}/T$} могут отсутствовать (в таком случае получим безусловные правила).

Пример фильтра только для ситуаций действительности (из медицинской практики): {$\underline{\tau}/T$} = {Пол?Ж; Ds? Бронхит; Возраст/B2? 40-55}. Пример фильтра только для событий: {$\underline{\tau}/T$} = {Тип тестов в событиях {*c*}? Биохимия крови}.

Тот факт, что ситуация действительности α удовлетворяет условиям {$\underline{\tau}/T$} будем записывать с помощью нотации: $\alpha\nabla${$\underline{\tau}/T$}. Аналогично будем записывать сведения о том, что события {*c*} удовлетворяют условиям {$\underline{\tau}/T$}: {*c*}∇{$\underline{\tau}/T$}

Дадим неформальное описание «+Правила» для РС.

Пусть

- существует хотя бы одна ситуация действительности, удовлетворяющая {$\underline{\tau}/T$}, где вслед за событиями {*c*}, удовлетворяющими {$\underline{\tau}/T$}, на интервале δ/Λ наблюдается событие *e*;

- не существует ни одной ситуации действительности, удовлетворяющей {$\underline{\tau}/T$}, где вслед за событиями {*c*}, удовлетворяющими {$\underline{\tau}/T$}, на интервале δ/Λ не наблюдается событие *e*.

Тогда события {*c*} являются возможной причиной наступления события *e* на интервале δ/Λ при условии выполнения {$\underline{\tau}/T$}.

Формальная запись «+Правила» будет иметь следующий вид:

$\exists\alpha\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{+1}Exp (α, {*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$, δ/Λ, *e*)) &$\neg\exists\beta\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{-1}Exp (β, {*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$, δ/Λ, *e*)) → J_{+1}РС ({*c*}, δ/Λ, {$\underline{\tau}/T$}, *e*).

Дадим неформальное описание «∨Правила» для РС.

Пусть

– существует хотя бы одна ситуация действительности, удовлетворяющая {$\underline{\tau}/T$}, где вслед за каким либо событием из {*c*}, удовлетворяющим {$\underline{\tau}/T$}, на интервале δ/Λ наблюдается событие *e*;

– не существует ни одной ситуации действительности, удовлетворяющей {$\underline{\tau}/T$}, где вслед за каким либо событием из {*c*}, удовлетворяющим {$\underline{\tau}/T$}, на интервале δ/Λ не наблюдается событие *e*.

Тогда множество событий {*c*} содержит возможные причины наступления события *e* на интервале δ/Λ при условии выполнения {$\underline{\tau}/T$}.

Формальная запись «∨Правила» будет иметь следующий вид:

$\exists\alpha\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ $\exists c'\in${*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{+1}Exp (α, *c'*, δ/Λ, *e*)) &$\neg\exists\beta\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ $\forall c'\in${*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{-1}Exp (β, *c'*, δ/Λ, *e*)) → $J_{\vee}$РС ({*c*}, δ/Λ, {$\underline{\tau}/T$}, *e*).

Неформальное описание «-Правила» для РС.

Пусть

– существует хотя бы одна ситуация действительности, удовлетворяющая {τ/T}, где вслед за событиями {c}, удовлетворяющими {τ/T}, на интервале δ/Λ не наблюдается событие e;

– не существует ни одной ситуации действительности, удовлетворяющей {τ/T}, где вслед за событиями {c}, удовлетворяющими {τ/T}, на интервале δ/Λ наблюдается событие e.

Тогда события {*c*} являются возможной причиной *не* наступления события *e* на интервале δ/Λ при условии выполнения {$\underline{\tau}/T$}.

Формальная запись «-Правила» будет иметь следующий вид:

$\exists\alpha\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{-1}Exp (α, {*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$, δ/Λ, *e*)) &$\neg\exists\beta\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{+1}Exp (β, {*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$, δ/Λ, *e*)) →

J_{-1}РС ({*c*}, δ/Λ, {$\underline{\tau}/T$}, *e*).

Неформальное описание «0Правила» для РС.

Пусть

– существует хотя бы одна ситуация действительности, удовлетворяющая {τ/T}, где вслед за событиями {c}, удовлетворяющими {τ/T}, на интервале δ/Λ не наблюдается событие e;

–существует хотя бы одна ситуация действительности, удовлетворяющая {τ/T}, где вслед за событиями

{c}, удовлетворяющими {τ/T}, на интервале δ/Λ наблюдается событие e.

Тогда сведения о причинно-следственных отношениях между {*c*} и *e* на интервале δ/Λ при условии выполнения $\{\underline{\tau}/T\}$ противоречивы.

Формальная запись «0Правила» будет иметь следующий вид:

$\exists\alpha\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{-1}Exp (α, {*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$, δ/Λ, *e*)) & $\exists\beta\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{+1}Exp (β, {*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$, δ/Λ, *e*)) →

J_0 PC ({*c*}, δ/Λ, $\{\underline{\tau}/T\}$, *e*).

Рассмотрим теперь неформальное описание «?Правила» для РС.

Пусть

– не существует ни одной ситуации действительности, удовлетворяющей {τ/T}, где вслед за событиями {c}, удовлетворяющими {τ/T}, на интервале δ/Λ наблюдается событие e;

– не существует ни одной ситуации действительности, удовлетворяющей {τ/T}, где вслед за событиями {c}, удовлетворяющими {τ/T}, на интервале δ/Λ не наблюдается событие e.

Тогда сведений о причинно-следственных отношениях между {*c*} и *e* на интервале δ/Λ при условии выполнения $\{\underline{\tau}/T\}$ недостаточно.

Формальная запись «?Правила» будет иметь следующий вид:

$\neg\exists\alpha\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{-1}Exp (α, {*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$, δ/Λ, *e*)) &$\neg\exists\beta\nabla\{\underline{\tau}/T\}$ (J_{+1}Exp (β, {*c*}$\nabla\{\underline{\tau}/T\}$, δ/Λ, *e*)) →

$J_?$ PC ({*c*}, δ/Λ, $\{\underline{\tau}/T\}$, *e*).

Все операции необходимо рассматривать с учетом банка тестов {*G*(τ)}.

ПРИМЕРЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДИКИ

Пусть изучаются факторы, влияющие на наступление некоторого события, например, банкротства предприятия [3]. Положим Z = {событие+; событие-} = {+; -} = {1, 2}. Сформируем первичную базу прецедентов следующего вида: $\Omega = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)\}$, где $Z = \{1, 2\}$. Если речь идет о банкротстве предприятий, то $\Omega^{+} = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}=1)\}$ – множество обанкротившихся предприятий, соответственно – $\Omega^{-} = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}=2)\}$ – множество стабильных (успешных) предприятий.

Эффективным методом построения орграфов набросков является расчет всевозможных индикаторов (показателей, индексов), характеризующих течение сложного процесса. Индикаторы применяются практически во всех областях знаний: экономике, медицине, экологии, политике, социальных исследованиях. Каждый индикатор *p* является тестом и, следовательно, задается орграфом доменов G(*p*). Среди экономических индикаторов первостепенное значение имеют показатели состояния и результатов функционирования экономики в целом, которые часто называют *агрегированными показателями* $\{p/P\}^{*}$. В контексте построения орграфа набросков первичным этапом является определение *компонентов* (агрегированных) экономических показателей {*c*/*C*}. Орграф набросков позволяет перейти от первичного описания базы прецедентов к расширенному описанию следующего вида: $\Omega' = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \{\underline{c}/C\}', \{\underline{c}/C\}, \{\underline{p}/P\}, \{\underline{p}/P\}^{*}, \underline{z}/Z)\}$, где $Z = \{1, 2\}$. Фактически речь идет о построении информационных множеств $\Omega' = \{\alpha(\{\varphi\}, I(\{\varphi\}), \underline{z}/Z)\}$. Мониторинг показателей за определенный период позволяет сформировать многомерные ВР.

Переход от описания Ω к описанию Ω′ позволяет задействовать все виды обобщений, как по горизонтали (в рамках одного прецедента), так и по вертикали (пример комбинации нескольких видов орграфов набросков). Далее, в рамках контекста $K = <\Omega', \{G(\tau)\}> \equiv <\Omega', \{G(\tau)\},\{G(c)\},\{G(p)\}>$ строятся синдромные модели знаний {*S*}, в частности, предельные синдромные модели знаний $\{S^{*}\}=\{S^{*}\}^{+}\cup\{S^{*}\}^{-}$, а также модели (предельных) вероятностных закономерностей $\{R^{*}\}=\{R^{*}\}^{+}\cup\{R^{*}\}^{-}$.

Множество синдромов $\{S^{*}\}^{+}$ определяет все возможные наборы параметров порядка (в рамках контекста K), которые приводят к наступлению «события+» (например, банкротству), а закономерности из $\{R^{*}\}^{+}$ являются предвестниками события. Напротив, множество синдромов $\{S^{*}\}^{-}$ определяет все возможные наборы параметров порядка, которые обеспечивают благоприятный режим функционирования. На основе знания указанных множеств синдромов может быть реализован *синдромный принцип управления*, целью которого является выход на благоприятный режим функционирования и его стабилизация [3].

Конкретизируем приведенную выше схему применения орграфа набросков и многомерных ВР для изучения факторов банкротства предприятия.

Текущий риск банкротства предприятия будем оценивать с помощью пяти тестов: X1 – общая оборачиваемость активов предприятия; X2 – отношение чистой прибыли к активам предприятия; X3 – отношение краткосрочных и долгосрочных заемных средств к активам предприятия; X4 – отношение долгосрочных обязательств к активам предприятия; X5 – натуральный логарифм выручки предприятия. Собственно риск P задается некоторой функцией от параметров X1, …, X5, т.е. P = P(X1, …, X5). Банк тестов $\{G(\tau)\} = \{G(X1), \ldots, G(X5), G(P)\}$. Без потери общности базовый домен во всех орграфах обозначим «1». Текущий риск банкротства является примером интегрального показателя (индикатора).

В базе прецедентов по каждому предприятию будем хранить данные за несколько лет предшествовавших банкротству, т.е. множество кортежей вида $\{<X1, \ldots, X5>_1, \ldots, <X1, \ldots, X5>_N\}$, где N – количество лет, включая год банкротства. Для успешных предприятий также берутся данные за N лет. Следовательно, первичная база прецедентов имеет вид:

$$\Omega(\{\tau/T_0\}) = \{\alpha(\{<X1/1, \ldots, X5/1>_1, \ldots, <X1/1, \ldots, X5/1>_N\}, \underline{z}/Z)\},$$

где $Z=\{1, 2\}$. Расширенная база прецедентов, включающая индикаторы (риски), имеет вид:

$$\Omega'(\{\tau/T_0\}) = \{\alpha(\{<X1/1, \ldots, X5/1, P/1>_1, \ldots, <X1/1, \ldots, X5/1, P/1>_N\}, \underline{z}/Z)\}.$$

На основе контекста $K = <\Omega', \{G(\tau)\}>$ строятся предельные синдромные модели знаний $\{S^*\}$ и множества предельных вероятностных закономерностей $\{R^*\}$. Каждый предельный синдром из $\{S^*\}^+$ описывает, по сути, набор параметров порядка (сценарий) банкротства предприятия и, соответственно, характер изменения финансовых показателей в ретроспективной динамике. Каждая предельная вероятностная закономерность из $\{R^*\}^+$ является предвестником события. На основе синдромных моделей $\{S^*\}$ и моделей $\{R^*\}$ может быть выполнено построение комплекса динамических моделей прогнозирования банкротства путем выделения синдромов и вероятностных закономерностей разной степени удаленности от интересуемого события, в частности, ранних предвестников события.

Пример из медицины. Пусть изучаются факторы, влияющие на наступление некоторого события, например, летального исхода, инвалидизации, неблагоприятного течения заболевания (после инсульта, инфаркта и т.д.) или неэффективности лечения. Положим $Z = \{\text{событие+; событие-}\} = \{+; -\} = \{1, 2\}$. Сформируем первичную базу прецедентов следующего вида: $\Omega = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)\}$, где $Z = \{1, 2\}$. Если речь идет о летальном исходе, то $\Omega^+ = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}=1)\}$ – множество умерших пациентов, соответственно – $\Omega^- = \{\alpha(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}=2)\}$ – множество выживших пациентов. Далее, в рамках контекста $K = <\Omega', \{G(\tau)\}>$ строятся предельные синдромные модели знаний $\{S^*\}=\{S^*\}^+ \cup \{S^*\}^-$ и предельные вероятностные модели $\{R^*\}=\{R^*\}^+ \cup \{R^*\}^-$. Множество синдромов $\{S^*\}^+$ определяет все возможные наборы параметров порядка (в рамках контекста K) приводящие к наступлению «события+», а закономерности из $\{R^*\}^+$ являются предвестниками события. Напротив, множество синдромов $\{S^*\}^-$ определяет все возможные наборы параметров порядка, которые обеспечивают благоприятное течение процесса.

По аналогии строятся синдромные и вероятностные модели знаний для произвольных экономических, социальных, политических и иных событий [3, 7]. Модели включают многомерные ВР.

На рис. 5 приведена диалогая форма партнерской информационной системы, предназначенной для автоматизированной оценки качества медицинской помощи [8].

Графическое представление динамики основных симптомов (тестов) позволяет эксперту и ИС все анализируемые симптомы разделить на появившиеся сразу (лихорадка, ознобы) и появившиеся позже (желтуха, одышка, гематурия, спутанность сознания). Иными словами, эти группы симптомов находятся во временной зависимости.

Заключение. Когнитивный подход на основе ППО позволяет обобщить постановку и решение традиционных задач анализа временных рядов, например, таких как: сегментация – разбиение ВР на значимые сегменты; кластеризация – поиск группировок ВР или их паттернов; классификация – назначение ВР или их паттернам одного их заранее определенных классов; индексирование – построение индексов для эффективного

выполнения запросов к базам данных ВР; резюмирование (summarization) – формирование краткого описания ВР, содержащего существенные черты с точки зрения решаемой задачи; обнаружение аномалий – поиск новых, не типичных паттернов; частотный анализ – поиск часто проявляющихся паттернов; прогнозирование – прогноз очередного значения на базе истории ВР; извлечение ассоциативных правил – поиск правил, относящихся к паттернам ВР.

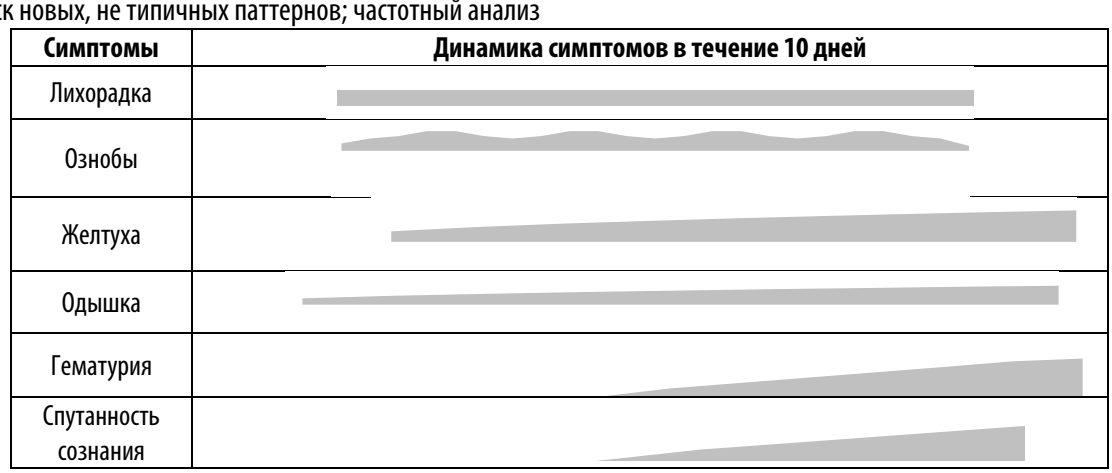


Рисунок 5 – Диалоговая форма –Динамика симптомов {$\underline{\tau}$(t)}

Частью общей методологии анализа ВР на основе ППО являются: алгоритмы построения предельных моделей знаний, алгоритмы построения информационных множеств, алгоритмы познания предметной области (извлечения обобщенных закономерностей), алгоритмы построения орграфов набросков и экстремальнеых пограничных слоев набросков (для фиксированной целевой задачи), а также методы когнитивной бикластеризации [3].

При создании когнитивных агентов способных анализировать ВР предельные модели знаний преобразуются в *среды радикалов*, где каждый радикал отвечает за установление отдельного синдрома или вероятностной закономерности. Связка «Модель знаний – среда радикалов» образует функциональную систему когнитивно-поведенческого уровня (в общем случае следует рассматривать иерархию функциональных систем). Функциональные системы обеспечивают высокую *пластичность* решения целевых задач [3, 7].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Ярушкина, Н.Г. Интеллектуальный анализ временных рядов: учебное пособие /Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева, И.Г. Перфильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 320 с.
2. Song Q., Chisson B. Fuzzy Time Series and its Models //Fuzzy Sets and Systems. – 2004. – №54. – P.269-277.
3. Прокопчук Ю.А. Принцип предельных обобщений: методология, задачи, приложения. Монография. – Дн-вск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2012. – 384 с.
4. Прокопчук Ю.А. Предельные синдромные и вероятностные модели знаний //Научный вестник Херсонской государственной морской академии. – 2011. – №2 (5). – С.322-333.
5. Илюхина В.А. Иерархический принцип организации и феномен интеграции разных по скоростям мозговых процессов в механизмах познавательной деятельности человека /В.А. Илюхина //IV-й конференция по когнитивным наукам, июнь 2010 г., г. Томск: тезисы докладов. – Томск: Томский государственный университет, 2010. – Т.2. – С.300.
6. Аншаков О.М. ДСМ-метод и модификационные вычисления //Искссственный интеллект и принятие решений. – 2008. – №1. – С.55-79.
7. Прокопчук Ю.А. Реализация когнитивных и метакогнитивных технологий в информационных системах, системах управления и образовании //Вестник Херсонского национального технического университета. – 2012. – №1 (44). – С.27-39.
8. Прокопчук Ю.А. Интеллектуальные медицинские системы: формально-логический уровень. – Дн-ск: ИТМ НАНУ и НКАУ, 2007. – 259 с.

МОДЕЛЬ СЕТИ БАЙЕСА ДЛЯ ОЦЕНКИ СТЕПЕНИ ЗНАЧИМОСТИ ВЛИЯЮЩИХ ФАКТОРОВ В СИСТЕМАХ ДЕФЕКТОСКОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОВ

УДК 620.179.16

БАБЕНКО Николай Иванович
к.т.н., заслуженный учитель Украины, директор физико-технического лицея при Херсонском национальном техническом и Днепропетровском национальном университетах.
Научные интересы: информационные технологии в образовательном процессе, автоматизация процессов контроля и управления.

ВВЕДЕНИЕ

Современные темпы развития промышленного производства, высокий уровень динамических и статических нагрузок на изделия в режиме эксплуатации, вызывают необходимость создания высокоточных систем контроля и технической диагностики, основанных на современных методах обработки информации. При неразрушающем контроле прочностных свойств металлов конечной целью контроля является определение прочностных характеристик таких, как предел прочности, текучести, относительное удлинение, относительное сужение и т.д. Эти величины можно измерить при непосредственном разрушении материала, что в рабочем режиме объекта недопустимо, т. к. это связано с большими финансовыми потерями, связанными с остановкой производства. Поэтому в настоящее время о прочностных характеристиках металлов судят по косвенным измерениям, определив такие физические характеристики, как скорость прохождения ультразвука в металле, резонансную частоту автоциркуляции, коэрцитивную силу и т.д.. Однако, при этом на точность физических измерений оказывают влияние различные факторы, зависящие от метода и условий контроля изделия. В связи с этим возникает актуальная задача оценки степени значимости влияющих факторов с целью их учета в современных системах дефектоскопии механических характеристик металлов.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В работах [1-6] представлены методики контроля неразрушающими методами технической диагностики, в которых прочностные свойства металла определяют физическими методами контроля, определив такие характеристики, как скорость прохождения ультразвука в металле, резонансную частоту автоциркуляции, коэрцитивную силу и т.д. и установив корреляционную зависимость между механическими и физическими характеристиками, оценивают механические свойства металлов. Но при таком подходе на точность измерений влияют большое количество сторонних факторов, которые увеличивают погрешность измерений физических характеристик. Кроме того, каждый из методов неразрушающего контроля имеет ограниченную область применения, что в некоторых случаях делает целесообразным применение нескольких методов неразрушающего контроля одновременно. В конечном итоге на основании эксперимента получается многомерная выборка, включающая в себя эмпирически определённые физические характеристики и множество величин, характеризующих факторы, влияющие на точность измерения физических величин. В работах [7,8] авторами разработана технология обработки многомерных данных с использований нейронных сетей. Трудности заключаются в нахождении наиболее оптимальной для поставленной задачи структуры сети

и алгоритма её обучения. Кроме того, в настоящее время степень значимости того иди иного фактора определяется субъективно, без учета взаимного влияния факторов друг на друга.

Целью работы является разработка системы оценки степени значимости факторов, влияющих на точность определения механических характеристик металлов физическими методами неразрушающего контроля, основанной на сети Байеса.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Пусть Ω - выборочное пространство событий (или множество событий) случайных экспериментов. Это выборочное пространство содержит все возможные значения случайной переменной. Предположим, что есть две переменные E и H, которые некоторым образом связаны между собой. Если мы имеем конкретное значение H, т.е. имеет место конкретное событие, то имеет интерес, какой будет при этом вероятность события E. Вероятность события E, при условии наступления события H, называется условной вероятностью. Условная вероятность события определяется выражением:

$$p(E|H_k) = \frac{p(E \cap H_k)}{p(H_k)}, \qquad (1)$$

где $\cap$ – операция пересечения множеств. Если $E_1, E_2, ..., E_n$ – такие взаимоисключающие события, что $\cup_{i=1}^{n} E_i = \Omega$, то говорят, что события E_i формируют полное (исчерпывающее) множество. Две переменные не связаны (не пересекаются), если они не имеют одинаковых значений. Если две переменные являются исчерпывающими и несвязанными, то можно записать, что

$$E = \bigcup_i (E \cap H_i), \quad (E \cap H_i) \cap (E \cap H_j) = \varnothing, \; i \neq j. \qquad (2)$$

Теория построения Байесовских сетей основана на предположении, что события являются исчерпывающими и не пересекаются. Если это условие не выполняется, то результаты применения сети будут неконсистентными (т.е. неточными). В случае если события являются исчерпывающими и не пересекаются, то вероятность события можно вычислить с помощью условных вероятностей

$$p(E) = \sum_{i=1}^{n} p(E \cap H_i) = \sum_{i=1}^{n} p(E|H_i) \cdot p(H_i). \qquad (3)$$

Используя формулу (3), сумму пересечений событий E и H можно выразить следующим образом:

$$p(E \cap H_k) = p(E|H_k) \cdot p(H_k) = p(H_k|E) \cdot p(E). \qquad (4)$$

С равенства $p(E|H_k) \cdot p(H_k) = p(H_k|E) \cdot p(E)$ имеем:

$$p(H_k|E) = \frac{p(E|H_k) \cdot p(H_k)}{p(E)},$$

а с учетом (3) получаем выражение:

$$p(H_k|E) = \frac{p(E|H_k) \cdot p(H_k)}{\sum_{i=1}^{n} p(E|H_i) \cdot p(H_i)}, \qquad (5)$$

представляющее собой формулу Байеса. На основе этой формулы строятся сети Байеса. В (5) H_k означает любую гипотезу из n возможных. Вероятности $p(E|H_k)$ задаются экспертами априорно. То есть, их можно рассматривать как ответ на вопрос: "Какой будет вероятность некоторого события, если известно, какая гипотеза была реализована?». Вероятности $p(E|H_k)$ очень полезны, поскольку, как правило, легче найти вероятность последовательности событий типа причина-следствие, чем наоборот. Значения $p(H_k)$ называют априорными вероятностями, они определяют начальные вероятности для всех гипотез. Сила Байесовская метода заключается в том, что априорные вероятности можно уточнять (обновлять) в соответствии с реалиями протекания исследуемого процесса. Это позволяет уточнять вероятности событий при поступлении дополнительной информации. Знаменатель выражения (5) можно рассматривать как нормирующий член, который устанавливает значение вероятности в промежутке между 0 и 1.

Сеть Байеса, формируемая на основании формулы (5), представляет собой направленный ациклический граф, где каждый узел представляет собой переменную, а каждая дуга - вероятностную зависимость, определяемую количественно использованием условного распределения вероятностей для каждого узла. В состав сети Байеса входят следующие компоненты:

– множество узлов, определяющих компоненты системы;

–множество направленных связей между компонентами системы.

Для построения сети использовались данные, полученные при контроле полого тела вращения акустическим методом неразрушающего контроля [9]. Прозвучивание осуществлялось резонансным способом, путём снятия амплитудно–частотных зависимостей. В качестве размерных факторов были взяты следующие геометрические параметры изделия: X_1 – внутренний диаметр вершины, X_2 – внутренний диаметр основания, X_3 – внешний диаметр, X_4 – высота, X_5 – некруглость внешнего диаметра. Диаметр каждого изделия определялся как среднее арифметическое из 10 его измерений в разных точках окружности, а некруглость – как разность между наибольшим и наименьшим значениями этих измерений. Была исследована партия изделий в количестве 100 штук. Эксперимент включал регистрацию геометрических параметров $X_1 \ldots X_5$, случайным образом изменяющихся в пределах заданных допусков, резонансной частоты, и времени прохождения акустического сигнала по толщине и окружности изделия. Собранные экспериментальные данные подвергались корреляционному и регрессионному анализам, результаты которых для резонансного метода приведены в таблице 1. Из неё видно, что все коэффициенты парной корреляции оказались значимыми, так как они превышают критическое значение коэффициента корреляции при доверительной вероятности 95%, равное 0,196 и, следовательно, зависимости между геометрическими параметрами и резонансной частотой действительно имеют место.

Таблица 1 –

Значения основных характеристик точности и взаимосвязи между погрешностями геометрических параметров и резонансной частотой детали

Обозначение парамет-	Средние значения X_i в мм и Z в кГц.	Стандарт-ное отклонение	Дисперсия выборки	t-статисти-ка	P-значение	Коэффици-ент корреляции R_{ZX_i}
X_1	39,83	0,066	0,004	3,192	0,002	0,431
X_2	91,68	0,125	0,015	4,122	8,0633E-05	0,543
X_3	149,22	0,314	0,098	-6,531	3,3097E-09	-0,634
X_4	163,12	0,146	0,021	-2,311	0,023	-0,334
X_5	0,11	0,108	0,012	-2,648	0,009	-0,349
Z	2067,68	11,090	122,987	2,136	0,035	1

Для моделирования исследуемых процессов была построена статическая байесовская цепь, целевым узлом в которой была принята дисперсия резонансной частоты автоциркуляции исследуемого материала. Остальными узлами сети являлись дисперсии соответствующих размерных факторов. Дискретизация исследуемых параметров была осуществлена с учетом данных таблицы 1 и мнения экспертов в данной предметной области следующим образом: дисперсия внутреннего диаметра вершины при минимуме 0 и максимуме 0,005 была разбита на три интервала; дисперсия внутреннего диаметра основания при минимуме 0 и максимуме 0,02 была разбита на три интервала; дисперсия внешнего диаметра при минимуме 0 и максимуме 0,1 была разбита на три интервала; дисперсия высоты изделия при минимуме 0 и максимуме 0,025 была разбита на три интервала; дисперсия некруглости внешнего диаметра при минимуме 0 и максимуме 0,015 была разбита на три интервала; дисперсия резонансной частоты при минимуме 0 и максимуме 125 была разбита на 5 интервалов. Структура сети Байеса для решения поставленной задачи представлена на рис. 1.

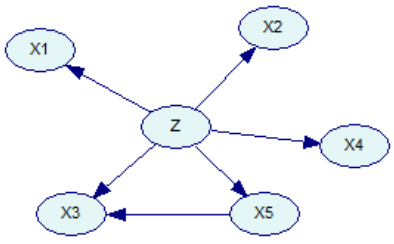


Рисунок 1 –Структура связей сети Байеса для оценки степени влияния размерных факторов на точность измерения резонансной частоты

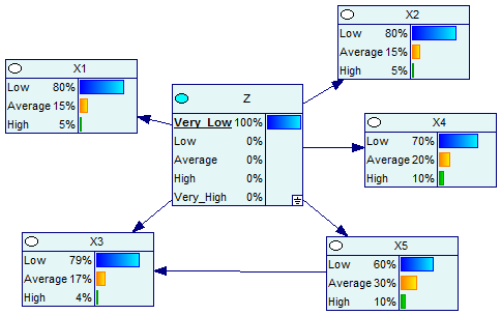


Рисунок 2 – Модель байесовской сети при очень низкой дисперсии резонансной частоты автоциркуляции

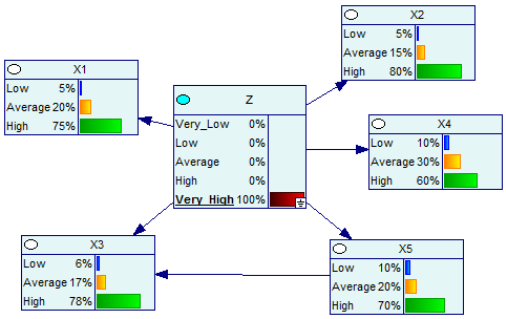


Рисунок 3 – Модель байесовской сети при очень высокой дисперсии резонансной частоты автоциркуляции

На рис. 2 и 3 представлена модель байесовской сети при очень низкой и очень высокой дисперсиях резонансной частоты автоциркуляции. Анализ результатов моделирования позволяет сделать вывод, что точность измерения резонансной частоты автоциркуляции наиболее целесообразно повышать за счет уменьшения разброса внутреннего диаметра основания, внутреннего диаметра вершины и внешнего диаметра, поскольку система наиболее чувствительна к данным характеристикам изделия. Полученные результаты моделирования согласуются с мнениями экспертов в данной предметной области.

ВЫВОД

Разработана модель сети Байеса для оценки степени значимости размерных факторов, влияющих на точность измерения резонансной частоты автоциркуляции при акустическом контроле механических характеристик металлов. На примере контроля полого теле вращения показано, что точность определения резонансной частоты целесообразно повышать за счет уменьшения допуска на следующие геометрические размеры изделия: внутренний диаметр вершины, внутренний диаметр основания и внешний диаметр. Дальнейшим направлением исследований планируется расширение представленной модели на комплексный контроль металлов методами неразрушающего контроля с учетом размерных и технологических факторов.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Клюев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика безопасности //Завод. лабор. Диагностика материалов. – 1998. – №1. – С.16.
2. Карпаш О.М. Стаціонарна установка «ЗОНД-СОТ» для автоматизованого комплексного неруйнівного контролю стальних труб /О.М. Карпаш, П.Я. Криничний, Я.Б. Даниляк, І.А. Молодецький, М.О. Молчанов, В.К. Куцій, В.О. Васьков //Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 1999. – №4. – С.80-83.
3. Криничний П.Я. Прилад для контролю фізико-механічних характеристик труб нафтового сортаменту СІГМА-5Т /П.Я. Криничний, І.А. Молодецький //Методи та прилади контролю якості. – 1997. – №1.
4. Бабичев С.А. Акустический контроль прочностных свойств инструментальных сталей /С.А. Бабичев, А.В. Шарко, В.Л. Ульянов. //Тезисы докладов 16-й Уральской региональной конференции «Контроль технологий, изделий и окружающей среды физическими методами». – Оренбург, 1996. С.44-45.
5. Шарко А.В. О механизме взаимосвязи прочностных и акустических свойств конструкционных материалов /А.В. Шарко, С.А. Бабичев, В.Л. Ульянов //Тезисы докладов 3-й международной конференции «Кристаллы: рост, свойства, реальная структура, применение», 1997. – С.180-182.
6. Муравьев В.В. Скорость звука и структура сталей и сплавов /В.В. Муравьев, Л.Б. Зуев, К.Л. Комаров. – Новосибирск: Наука, 1996.
7. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети /В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2001.
8. Е.М. Миркес Нейрокомпьютер. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 1998.
9. Ботаки А.А. Ультразвуковой контроль прочностных свойств конструкционных материалов /А.А. Ботаки, В.А. Ульянов, А.В. Шарко. – М.: Машиностроение, 1983. – 179 с.

ТЕОРЕТИКО-МНОЖИННА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В ЗАДАЧІ ЗОВНІШНЬОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ SQL-ЗАПИТІВ

УДК 004.657; 004.043

КОСТЕНКО Павло Павлович
аспірант кафедри комп'ютерних та інформаційних систем
Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.
Наукові інтереси: оптимізація SQL-запитів, робото-технічні комплекси, алгоритми програмування.
e-mail: ppkostenko@gmail.com

ВСТУП

Незалежно від типу інформаційних систем (ІС), їх загальним призначенням є зберігання та обробка інформації з метою забезпечення інформаційних потреб користувачів. Зручним та високоефективним засобом зберігання інформації в ІС виступають реляційні бази даних (РБД). Системи керування базами даним (СКБД) та відповідно РБД стали невід'ємною частиною сучасних автоматизованих інформаційних систем (АІС). Функціональна розгалуженість, багатомодульність та дискретність в роботі ІС ускладнюють моделювання та математичне відображення процесів, що відбуваються в системі.

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ДОСЛІДЖЕНЬ Й ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Застосування РБД суттєво прискорює надання інформації користувачеві, проте в процесі функціонування ІС спостерігається поступове зменшення ефективності її роботи, зокрема за рахунок збільшення часу обробки запитів користувачів апаратним забезпеченням ІС [1, 2]. Це обумовлено «старінням» логічної та фізичної структури РБД, ускладненням внутрішніх алгоритмів виконання запитів користувачів тощо. При цьому, з огляду на негативні наслідки від затримки надання інформації користувачам системи, важливим є завдання вирішення проблеми підвищення ефективності роботи ІС, як на етапах їх розробки, так і під час цільового застосування [3]. Серед спектру заходів підвищення ефективності роботи ІС в ході їх активного використання постійного вдосконалення набувають задачі оптимізації SQL-запитів, зокрема зовнішньої оптимізації SQL-запитів до їх виконання засобами СКБД. Відкритою залишається задача побудови математичної моделі ІС, що надає можливість описати перетворення вхідних запитів до вихідних даних та дозволяє показати процес зовнішньої оптимізації SQL-запиту.

Наразі відомо три підходи до математичного опису ІС: модель інформаційної системи як дискретної динамічної системи з післядією [4, 5], дворівнева модель інформаційної системи як системи масового обслуговування [6], модель інформаційної системи як кортеж моделей її елементів (теоретико-множинна модель) [7, 8].

Модель інформаційної системи як дискретної динамічної системи з післядією більшого вдосконалення набула в роботі [5], де детально досліджувався процес збору й обробки даних, під яким розуміється лінійна чи умовна послідовність подій, що наступають за умови деякого формального правила, реалізація якого призводить до досягнення цілі – введення процесу в необхідний стан чи режим.

Для визначення умов найбільш повного і цілісного відображення реальності, Л.А. Краснодубец використовує класичний апарат формалізації складних

систем [9] та представляє інформаційний процес в вигляді деякої дискретної структурованої системи *S* (1), функціонування якої залежить від її стану в минулому, а час післядії дорівнює *Tk*.

$$S = (\{X\},\{R\},\{Y\},\{O\},\{F\},\delta,r_0,T_k) \quad (1)$$

де $\{X\}_N = \{X^u\} \cup \{X^f\}$ – кінцева множина подій, що мають вплив на процес; $\{X^u\}$ – підмножина подій, пов'язаних з управляючим впливом на процес; $\{X^f\}$ – підмножина подій, не пов'язаних з управляючим впливом на процес; $\{R\}_M$ – множина станів системи (режимів); $\{Y\}_L$ – множина параметрів режиму, приймається за вихід; $\{F\}_M$ – множина функцій виходу; $\{O\}_N$ – множина алгоритмів, пов'язаних з подіями; δ – функція переходів; $r_0 \in \{R\}_M$ – початковий стан (режим); $T_k = [t_{i-k}, t_i]$ – часовий інтервал післядії, *k* – ціле число.

Використання моделі дискретної динамічної системи з післядією (1) в умовах структурної та функціональної інформаційної невизначеності БД не є можливим, оскільки моделі вимагають детального вивчення об'єкта керування, його функцій переходів, функцій виходів, множини станів.

В роботі [6] зазначається, що відповідно до теорії мереж систем масового обслуговування, ІС перебуває під дією вхідного потоку запитів λ_0, складається з підсистем $S_1, S_2, \ldots, S_n$. Взаємодія підсистем описується з допомогою матриці передач (2)

$$\Theta = \|\theta_{ij}\|_{(n+1)\times(n+1)} \quad (2)$$

де θ_{ij} – вірогідність того, що запит після його обробки в підсистемі *Si* буде переданий по каналу зв'язку до підсистеми *Sj*, $i, j = \overline{0,n}$. В якості S_0 виступає зовнішнє середовище, що генерує вхідні запити та отримує результати обробки запитів (дані).

При розгляді ІС на рівні підсистем вважається, що Λ_j – інтенсивність потоку запитів через систему S_j, $j = \overline{0,n}$, $\Lambda_0 = \lambda_0$. Значення $\Lambda_1, \Lambda_2, \ldots, \Lambda_n$ при заданій матриці (2) визначається вирішенням системи лінійних алгебраїчних рівнянь виду (3):

$$\Lambda_j = \sum_{i=0}^{n} \theta_{ij}\Lambda_i, j = \overline{0,n} \quad (3)$$

Кількісними показниками функціонування підсистем розглянутої ІС вважаються: S^* – підсистеми з мінімальною продуктивністю, S^{**} – підсистеми з максимальною продуктивністю при обробці вхідного потоку запитів та середня кількість запитів, що проходять через кожну підсистему $N_i = \frac{\overline{\Lambda_i}}{\lambda_0}, i = \overline{1,n}$. Підсистемам S^* та S^{**} відповідають інтенсивності потоків запитів Λ^* та Λ^{**}: $\Lambda^* = \min_{1\le i\le n} \overline{\Lambda}_i$, $\Lambda^{**} = \max_{1\le i\le n} \overline{\Lambda}_i$, де $\overline{\Lambda}_1, \overline{\Lambda}_2, \ldots, \overline{\Lambda}_n$ – розв'язок системи (3).

Модель підсистеми S_i ІС складається з m_i вузлів. Структура кожної підсистеми описується матрицею передач (4).

$$Q^{(i)} = \left[q_{kr}^{(i)}\right]_{(m_i+1)\times(m_i+1)}, i = \overline{1,n} \quad (4)$$

де $q_{kr}^{(i)}$ – вірогідність того, що запит після обробки в вузлі *k*, буде передано до вузла *r*; $\lambda_k^{(i)}$ – інтенсивність вхідного потоку запитів в *k*-й вузол досліджуваної підсистеми. Інтенсивність потоків запитів $\lambda_1^{(i)}, \lambda_2^{(i)}, \ldots, \lambda_{m_i}^{(i)}$ при заданій матриці передач (4) визначається з розв'язку системи рівнянь виду: $\lambda_r^{(i)} = \sum_{k=0}^{m_i} q_{kr}^{(i)}\lambda_k^{(i)}, r = \overline{1,m_i}$.

Вхідний потік запитів в підсистему S_i визначається як $\lambda_0^{(i)} = \sum_{j=1}^{n} \overline{\Lambda}_j\theta_{ji}, i = \overline{1,n}$, де $\overline{\Lambda}_j$ – розв'язок системи (3). Середня кількість запитів, що проходить через кожний вузол підсистеми, визначається як: $\alpha_k^{(i)} = \frac{\overline{\lambda}_k^{(i)}}{\overline{\Lambda}_i}$, $k = \overline{1,m_i}$, $i = \overline{1,n}$. Вважається, що $\tau_k^{(i)}$ – середні витрати часу на обробку одного запиту в кожному вузлі підсистеми S_i, тоді середній час перебування запиту в підсистемі визначається як: $T = \sum_{i=1}^{n} N_i T_i = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{m_i} N_i\alpha_k^{(i)}\tau_k^{(i)}$. Час знаходження запиту в певному вузлі підсистеми в загальному випадку складається з часу перебування запиту в черзі на виконання та часу виконання запиту: $\tau_k^{(i)} = w_k^{(i)} + u_k^{(i)}$, де $w_k^{(i)}$ – час перебування запиту в черзі; $u_k^{(i)}$ – час виконання запиту.

Адекватність розглянутої дворівневої моделі визначається ступенем відповідності вхідного потоку

запитів Пуассоновському потоку. Для застосування моделі необхідно визначити матрицю передач запиту, що в умовах інформаційної невизначеності структури СКБД та бази даних (БД) практично неможливо, оскільки заздалегідь невідома кількість підсистем, що приймають участь в обробці запиту та механізми їх роботи.

В роботі [7] ІС пропонується розглядати як пару:

$$I = \langle M, Q \rangle \quad (5)$$

де $M = \langle \cdots \rangle$ – кортеж, який описує схему відношень БД; $Q = \{Q_k \mid Q_k = \langle \cdots \rangle, k = \overline{1,p}\}$ – множина запитів до БД, Q_k – кортеж, що описує структуру запиту та визначає параметри виконання запиту.

Кортеж опису схеми відношень БД може бути представлено базовому вигляді, за схемою Е.Ф. Кодда [10]: $M = \langle R, S \rangle$, де $R = \{R_j, j = \overline{1,m}\}$ – множина відношень БД, *m* – кількість відношень; $S = \{S_i, i = \overline{1,n}\}$ – множина доменів, *n* – кількість доменів, $S_i = \{s_{i_1}, s_{i_2}, \ldots, s_{i_k}\}$, *k* – кількість елементів множини. Відношення R_j представляє собою кортеж $R_j = \langle s_1, s_2, \ldots, s_h \rangle$, як підмножина декартового добутку елементів множини *S*, $R \subseteq S_1 \times S_2 \times \ldots \times S_n$. Подібна модель є найбільш простою та не відображає внутрішній взаємозв'язок відношень.

Більш детальною є математична модель А.С. Маркова [11], що відображає концептуальну модель даних, математичну структуру даних як сукупність:

$$M = \{D, R, A\} \quad (6)$$

де $D = \{D_i, i = \overline{1,n}\}$ – задана множина (носій структури, домен); $R = \{R_j, j = \overline{1,m}\}$ – відношення, кінцевий набір відношень, в яких знаходяться елементи множини (типова характеристика структури); $A = \{A_i, i = \overline{1,p}\}$ – обмежуючі умови, накладені на відношення (аксіоми структури). Відношення R_j представляє собою кортеж $R_j = \langle d_1, d_2, \ldots, d_h \rangle$, як підмножина декартового добутку елементів множини *D*, $R \subseteq D_1 \times D_2 \times \ldots \times D_n$.

В контексті БД елементи даної математичної структури інтерпретують наступним чином. Абстрактній множині *D* відповідає певна реальна кінцева множина елементів даних (задана сукупність типів даних). Відношеннями *R* відображаються взаємозв'язки між реаліями – в формі відношень між записами даних про ці реалії. Самі відношення між записами, в свою чергу, також можуть бути представлені спеціально організованими даними, наприклад реляційними таблицями. Аксіомам *A* відповідають умови коректності (цілісності, правильності), накладені на БД.

Модель подібна до (6), представлена в роботі [12]. Реляційна схема (7) представляє собою четвірку, що включає: Ω – кінцева множина атрибутів, Δ – кінцева множина доменів, $dom : \Omega \to \Delta$ – функцію, що асоціює домен з атрибутом, *K* – множина множин атрибутів з Ω.

$$M = (\Omega, \Delta, dom, K) \quad (7)$$

В роботах А.Б. Кунгурцева [8,13-14] представлено три математичні моделі БД. Модель (8) є вдосконаленою моделлю (6-7) та відображає розподіл атрибутів (полів відношень) на ключові та всі інші. Такий поділ дозволяє виділити елементи, які пов'язують між собою відношення.

$$M = \langle R, P, B, V \rangle \quad (8)$$

де $R = \{R_l, l = \overline{1,k}\}$ – множина відношень БД; $P = \{P_i, i = \overline{1,k}\}$ – множина полів (атрибутів) відношень; $V = \{V_i, i = \overline{1,k}\}$ – множина ключових атрибутів, призначених для зв'язку між відношеннями, автоінкриментні та індексні атрибути; $B = \{B_i, i = \overline{1,k}\}$ – множина не ключових атрибутів.

Модель (8) не дозволяє визначити зовнішні та внутрішні ключові атрибути, крім того така схема не розкриває ієрархічних зв'язків між відношеннями, функціональних залежностей між атрибутами та не відображає множину доменів БД.

Моделі, що частково вирішують зазначені недоліки, запропоновані в роботах: [7] – модель-кортеж, який описує схему відношень БД та містить множини відношень БД, ієрархічних зв'язків між відношеннями, ключових атрибутів, неключових атрибутів, атрибутів відношень, множину зовнішніх ключових атрибутів (9); [8, 14] – модель-кортеж, який додатково враховує функціональні залежності між атрибутами (10).

$$M = \langle R, D, P, B, A, V \rangle \quad (9)$$

де $R = \{ R_i, i = \overline{1,n} \}$ представляє множину відношень БД, *n* – загальна кількість відношень; $D = \{ D_k | D_k = (R_1, R_2), k = \overline{1,d} \}$ – множина ієрархічних зв'язків між відношеннями, (R1, R2) – упорядкована пара, R1 – основне відношення, R2 – підлегле відношення, d – загальна кількість ієрархічних зв'язків; $A = \{A_i, i = \overline{1,n}\}$ – множина атрибутів відношень, $A_i = (a_1, a_2, \ldots, a_t)$ – множина атрибутів відношення $R_i \in R$, t – загальна кількість атрибутів відношення R_i; $P = \{P_i, i = \overline{1,n}\}$, $P_i = (p_1, p_2, \ldots, p_p)$, $P_i \subseteq A_i$, $0 \le p \le t$ – множина ключових атрибутів; $B = \{B_i, i = \overline{1,n}\}$, $B_i = (b_1, b_2, \ldots, b_b)$, $B_i \subseteq A_i$, $0 \le b \le t$ – множина неключових атрибутів, $A_i = P_i \cup B_i$; $V = \{V_i, i = \overline{1,n}\}$ – множина зовнішніх ключових атрибутів, $|V_j| \ge 0; |V_j| = 0$, якщо не $\exists D_k = (R_i, R_j)$, для відношень Ri та Rj таких, що $\exists D_k = (R_i, R_j)$, виконується рівність $V_j = P_i$.

$$M = \langle R, A, P, V, B, F, D \rangle \quad (10)$$

де шістка $\langle R, A, P, V, B, D \rangle$ чітко відповідає моделі (9); $F = \{F_j, j = \overline{1,f}\}$, $F_j : x \to y$, $x \in P_i$, $y \in B_i$ – множина функціональних залежностей між атрибутами, *f* – загальна кількість функціональних залежностей.

Модель SQL-запиту залежить від умов її застосування і може мати акценти на структуру запиту [15], параметри його виконання [16], результат виконання запиту [17], [7], що відображено в моделях (11)-(15).

$$Q = \langle d_{St}, t_{St}, q, t_q, wp \rangle \quad (11)$$

де d_{St} та t_{St} – дата та час початку виконання запиту, *q* – текст запиту, t_q – тривалість виконання запиту, *wp* – ідентифікатор робочого місця, що ініціювало виконання запиту. Модель (11) не відображає структуру SQL-запиту і може використовуватися лише для збору статистичної інформації щодо інтенсивності надходження запитів від робочого місця ІС, часу виконання запиту СУБД, тощо.

Модель (12) повно-функціонально відображає структуру запиту та службову інформацію його виконання. Такий підхід представлення, атрибутів та відношень запитів дозволяє відокремити атрибути результуючого відношення та детально описати ролі атрибутів і відношень в виконанні запиту. Проте недоліком моделі можна вважати параметри виконання запиту, що варто віднести до моделі результату виконання (моделі вихідних даних виконання запиту). Використання моделі (12) можливе лише для статистичної обробки результатів роботи ІС і не можливе в задачі оптимізації SQL-запитів.

$$Q = \langle T_q, W, Typ, \langle t_{st}, \tau \rangle \rangle \quad (12)$$

де $T_q = \langle T_i, \langle F, R \rangle \rangle, i = \overline{1, N_{Tq}}$ – множина таблиць T_i БД, що беруть участь в запиті *q*, N_{Tq} - кількість таблиць T_i; $F = \{F_j, j = \overline{1, N_{T_iQ}}\}$ – множина полів таблиці T_i, N_{T_iQ} – кількість задіяних в запиті *q* полів F_j таблиці T_i; $R = \{R_k, k = \overline{1, N_{F_jQ}}\}$ – множина ролей поля F_j в запиті *q*, N_{F_jQ} – кількість ролей поля F_j; $R_k \in \{P_R, O_R, G_R, C_R\}$, де P_R – операція виконання в запиті *q* виведення поля F_j до результуючої таблиці T_i; O_R – виконання сортування даних за полем F_j; G_R – виконання групування даних за полем F_j; C_R – використання поля F_j в умовах відбору рядків таблиці T_i; *W* – ідентифікатор робочого місця, з якого направлено запит *q* до БД; $Typ \in \{TD, TI, TU, TS\}$ – тип запиту *q*, де TD, TI, TU, TS – запит на видалення, внесення, оновлення, вибір даних відповідно; t_{st} – час запуску запиту; τ – тривалість виконання запиту, запущеного в момент часу t_{st}.

Модель запиту (13) інформативно відповідає моделі (11) та має відповідні недоліки, що унеможливлює використання даної моделі з задачах синтаксичної оптимізації SQL-запитів.

$$Q = \langle tx, t, G, d \rangle \quad (13)$$

де *tx* – текст запиту; *t* – час виконання запиту; *G* – группа, до якої відноситься запит, якщо на основі попереднього аналізу не виявлено приналежності запиту до жодної групи, $G = 0$; *d* – дата і час початку виконання запиту.

Модель (14) має найкращі характеристики опису структури запиту з усіх розглянутих. Загальним недоліком моделей (11)-(14) можна вважати відсутність кількісних показників синтаксичної структу-

ри SQL-запиту, наявність елементів кортежів запиту, що відповідають апостеріорній інформації запиту (час виконання запиту, відносна кількість виконань запиту).

$$Q = \langle s, n_q, T \rangle \quad (14)$$

Кортеж запиту складається із трьох компонентів: s – текст запиту; n_q – відносна кількість виконань запиту; $T = \{Sel, Ins, Del, Upd\}$ – тип запиту (вибірка, вставка, видалення, відновлення). Текст запиту s розглядається як кортеж з п'яти елементів: $s = \langle R^s, D^s, A^s, C^s, f^s \rangle$, де R^s – множина відношень БД, що беруть участь у запиті, $R^s \subseteq R$; D^s – множина ієрархічних зв'язків між відношеннями R^s; A^s – множина атрибутів відношень із множини R^s, використаних у запиті; C^s – множина умов вибору запиту; f^s – множина виражень, використаних у запиті. A^s, у свою чергу, представляється як кортеж множин $< P^s, V^s, B^s, G^s >$, де P^s – множина атрибутів, які використані у запиті й відносяться до первинного ключа; V^s – множина атрибутів, які відносяться до зовнішнього ключа; B^s – множина неключових атрибутів; G^s – множина атрибутів, використаних для угруповання рядків запиту.

Представлення математичної моделі інформаційної системи, як кортежу моделей її елементів дозволяє побудувати гнучку модель, що відображатиме фізичну та логічну структуру інформаційної системи та механізму оптимізації запитів. Побудова моделі ІС потребує вдосконалення існуючих математичних моделей, які відображають концептуальну модель БД та структуру вхідного запиту, і вимагає перегляду кількості елементів кортежу опису ІС з метою максимальної відповідності даної моделі реальній ІС та процесу виконання запитів засобами СУБД.

Теоретико-множинна модель, запропонована в роботах Кунгурцева А.Б. та Зіноватної С.Л., має найкращі характеристики опису структури запиту з усіх розглянутих. Загальним недоліком можна вважати відсутність кількісних показників синтаксичної структури SQL-запиту, елементів кортежів запиту, що відповідають апостеріорній інформації запиту (час виконання запиту, об'єм даних тощо).

Побудова моделі ІС потребує вдосконалення існуючих математичних моделей, які відображають концептуальну модель БД та структуру вхідного запиту, і вимагає перегляду кількості елементів кортежу опису ІС з метою максимальної відповідності даної моделі реальній ІС та процесу виконання запитів засобами СКБД.

МЕТА РОБОТИ

Розробка теоретико-множинної моделі перетворення вхідних запитів до вихідних даних в інформаційній системі, яка дозволяє описати процес зовнішньої оптимізації SQL-запиту на основі локальної моделі керованого процесу.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Інформаційну систему, що використовує РБД для збереження інформації, пропонується розглядати як систему, що включає три складові: БД, СКБД, робоче місце (РМ) користувача. Відповідно структурно-функціональна схема ІС має вигляд (рис. 1):

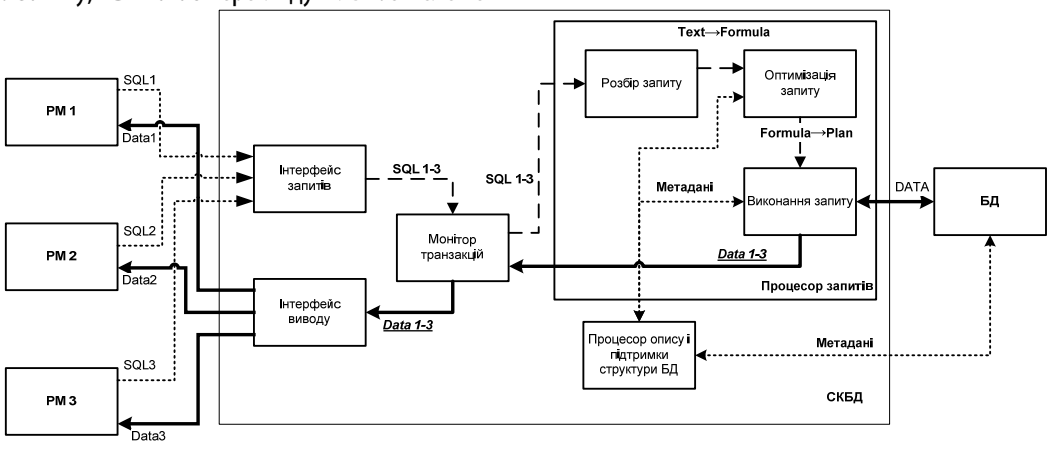


Рисунок 1 – Структурно-функціональна схема ІС

Від користувача системи (РМ) надходять SQL-запити, що виконуються в СКБД з урахуванням внутрішніх налаштувань системи та БД. В результаті виконання запиту користувач отримує структуровані дані, відповідно до умов, описаних в SQL-запиті та наявних структур даних в БД. Вважаємо, що в процесі виконання запиту приймають участь наступні складові: $Q=\{Q_i, i=\overline{1,n}\}$ – множина вхідних даних (SQL-запитів), *MS* – кортеж, що описує об'єкт (СКБД), $Y=\{Y_i, i=\overline{1,n}\}$ – множина вихідних даних (результати виконання SQL-запиту). Тому модель ІС в загальному вигляді представляється кортежем (15):

$$I=\langle Q, M_S, Y\rangle \quad (15)$$

Якщо розглядати оптимізацію SQL-запиту в автоматичному режимі до його потрапляння в процесор запитів та без припинення роботи ІС, постає проблема оптимізації запиту в умовах інформаційної невизначеності БД та налаштувань внутрішнього оптимізатора СКБД. За таких умов структурно-функціональна схема частини ІС, що бере участь у обробці SQL-запитів, має вигляд (рис. 2):

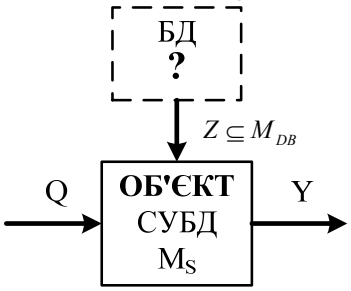


Рисунок 2 – Структурно-функціональна схема частини ІС, що бере участь у обробці SQL-запитів

До моделі ІС вводимо *Z* – зовнішнє збурення, що діє на об'єкт та представляє собою кортеж, який структурно відповідає моделі БД, кількісно виражає множини даних, необхідних для виконання *Q* , та характеризує вплив структури БД на виконання запиту. *MS* містить в собі функції, що узгоджують вхід *Q* і вихід *Y*.

$$Y_i = M_S(Q_i, Z_i) \quad (16)$$

де $Q_i=\langle S, T\rangle$ – кортеж, що описує вхідний SQL-запит, $T=\{Sel, Ins, Del, Upd\}$ – тип запиту (вибірка, вставка, видалення, відновлення відповідно); *S* – текст запиту, представляє собою кортеж семи елементів: $S=\langle R^S, A^S, Ak^S, A^S_{RES}, C^S, G^S, O^S, F^S, f^S\rangle$, де $R^S=\{R^S_i, i=\overline{1,n}\}$ – впорядкована множина відношень запиту, *n* – загальна кількість відношень; $A^S=\{A^S_i, i=\overline{1,k}\}$ – впорядкована множина атрибутів запиту, *k* – кількість атрибутів запиту; $Ak^S=\{Ak^S_i, i=\overline{1,l}\}$ – впорядкована множина комбінованих атрибутів запиту $Ak^S \subseteq A^S, l \le k$, *l* – кількість комбінованих атрибутів запиту; підмножина $A^S_{RES}=\{A^S_i, i=\overline{1,e}\}$ – містить атрибути результуючого відношення запиту, $A^S_{RES} \subseteq A^S$, *e* – кількість атрибутів результуючого відношення; $G^S=\{G^S_i, i=\overline{1,l'}\}$ – впорядкована множина атрибутів групування, l' – кількість атрибутів групування, $l' \le k$, $G^S \subset A^S$; $O^S=\{O^S_i, i=\overline{1,l''}\}$ – впорядкована множина атрибутів сортування, l'' – кількість атрибутів сортування, $l'' \le k$, $O^S \subset A^S$; $F^S=\{F^S_i, i=\overline{1,h}\}$ – множина функцій, застосованих до атрибутів, умови вибору даних, умов сортування та групування даних, *h* – кількість атрибутів сортування; $F^S_i=\langle FT, \{FP\}\rangle$ – функція представляє собою пару: $FT=\{max, min, count, sum, \ldots\}$ – тип функції, $\{FP_j, j=\overline{1,p}\}$ – множина параметрів функції; $C^S=\left\{C^S_i \middle| C^S_i=\langle \alpha^C, Term, \beta^C\rangle, i=\overline{1,m}\right\}$ – впорядкована множина умов вибору даних, *m* – кількість умов. $C^S_i=\langle \alpha^C, Term, \beta^C\rangle \Rightarrow C^S_i=\alpha^C \underset{Term}{\sim} \beta^C$ – кортеж умови містить трійку елементів: $\alpha^C=\{A^C, F^C\}$ – множина можливих значень лівої частини умови, яка містить атрибут A^C чи функцію F^C такі, що $A^C \in A, F^C \in F$; $\beta^C=\{A^C, F^C, Q^C, \{\overline{\varnothing}\}, const\}$ – множина можливих значень правої частини умови, яка може містити атрибут A^C , функцію F^C такі, що $A^C \in A, F^C \in F$; підзапит Q^C , який структурно відповідає Q_i , $Q^C \sim Q_i$; $\{\overline{\varnothing}\}$ – не пусту множину значень; *const* – константне значення; $\alpha^C \subset \beta^C$; $Term=\{=,>,<,\le,\ge,\ne,in,is,not\{=,>,<,\le,\ge,\ne,in,is,\}\}$ – множина термів умови; $f^S=\{f^S_j(R^S_i, A^S_i), j=\overline{1,e}\}$ – множина функцій зв'язку відношення запиту R^S_i з атрибутом запиту A^S_i ; $f^S_j(R^S_i, A^S_i): A^S \to [true, false]$

– функція чіткої належності елемента $A_i^S \in A^S$ до відношення R_i^S.

$M_S = \langle TR, \mu', \mu'', \gamma', \gamma'', MD \rangle$ – кортеж, що описує функціонал СКБД і відповідно містить функції відображення $\mu', \mu'', \gamma', \gamma''$ структури запиту Q_i структурі метаданих БД $MD = \langle R^{MD}, A^{MD}, D^{MD}, ST \rangle$ та моделі БД $M_{DB} = \langle R, D, A, Sh_{DB}, K, K', K'', L \rangle$, де $TR = \{Tr_i, i = \overline{1,n}\}$ – множина активних транзакцій, *n* – кількість транзакцій; $Tr_i = \langle Q^{Tr}, Y^{Tr}, Info^{Tr} \rangle$ – транзакція складається з трійки, де $Q^{Tr} = \{Q_i^{Tr}, i = \overline{1,m}\}$ – впорядкована множина запитів, які виконуються в межах транзакції Tr_i; $Y^{Tr} = \{Y_i^{Tr}, i = \overline{1,m}\}$ – впорядкована множина результатів виконання запитів в межах транзакції Tr_i, *m* – кількість пар $\langle запит, дані \rangle$ транзакції Tr_i; $Info^{Tr}$ – множина службової інформації виконання транзакції Tr_i; $\mu', \mu'', \gamma', \gamma''$ - функції, що відображають структуру запиту Q_i структурі метаданих БД та моделі БД. Функція μ' – відображення множини відношень запиту Q_i множені відношень метаданих СУБД. $\mu' : R^S \to R^{MD}$.

Область визначення функції μ' позначимо: $D(\mu') = R^S$, область значень $E(\mu') \subseteq R^{MD}$.

$\forall R_i^S, \forall R_{i+1}{}^S = \begin{cases} R_i^S \in D(\mu') \\ R_{i+1}{}^S \in D(\mu') \end{cases}$, відповідно до $\left(R_i^S \neq R_{i+1}{}^S\right) \Rightarrow \mu'\left(R_i^S\right) \neq \mu'\left(R_{i+1}{}^S\right)$ тотожності сама функція $\mu' : R^S \to R^{MD}$ ін'єктивна. μ'' – функція відображення множини відношень запиту Q_i множені відношень моделі БД. $\mu'' : R^S \to R$. γ' – функція відображення множини атрибутів запиту Q_i множені атрибутів метаданих СУБД. $\gamma' : A^S \to A^{MD}$. γ'' – функція відображення множини атрибутів запиту Q_i множені атрибутів моделі БД. $\gamma'' : A^S \to A$. $R^{MD} = \{R_i^{MD}, i = \overline{1,n}\}$ – множина відношень БД, *n* – загальна кількість відношень, $R^{MD} = R$; $A^{MD} = \{A_i^{MD}, i = \overline{1,k}\}$ – множина атрибутів бази даних, *k* – кількість атрибутів БД. Множина атрибутів бази даних містить в собі підмножини: P^{MD} – множина атрибутів, які використані у запиті й відносяться до первинного ключа; V^{MD} – множина атрибутів, які відносяться до зовнішнього ключа; B^{MD} – множина не ключових атрибутів; Idx^{MD} – множина проіндексованих атрибутів; $A^{MD} = P^{MD} \cup V^{MD} \cup B^{MD} \cup Idx^{MD}$, $A^{MD} \sim A$; $D^{MD} = \{D_i^{MD}, i = \overline{1,m}\}$ – множина доменів бази даних, $D_i^{MD} = \{d_1, d_2, \ldots, d_\eta\}$ – множина значень домену D_i^{MD}, η – кількість значень домену D_i^{MD}, $D^{MD} = D$; $ST = \{St_j \mid St_j = \langle A_i^{MD}, Val \rangle\}$ – множина статистичної інформації використання даних, описується парою атрибут A_i^{MD}, відносне значення частоти звернень Val.

$Y_i = \langle R^Y, A^Y, t, V \rangle$ – кортеж, що описує результат виконання запиту Q_i, містить: R^Y – вихідне відношення, $R^Y \sim R_i$; $A^Y = \{A_i^Y, i = \overline{1,k}\}$ – впорядкована множина атрибутів вихідного відношення, *k* – кількість атрибутів вихідного відношення, $A^Y \subseteq A^S$; *t* – час виконання запиту; *V* – об'єм даних, які повертаються ініціатору виконання запиту.

$Z = \langle R^Z, D^Z, A^Z, Sh^Z, K^Z, K'^Z, K''^Z, L^Z \rangle, Z \subseteq M_{DB}$ – кортеж, що описує зовнішнє збурення, де $R^Z = \{R_i^Z, i = \overline{1,n}\}$ – впорядкована множина відношень, які приймають участь у виконанні запиту, *n* – загальна кількість відношень; $D^Z = \{D_i^Z, i = \overline{1,m}\}$ – множина доменів бази даних, які приймають участь у виконанні запиту; $A^Z = \{A_i^Z, i = \overline{1,k}\}$ – впорядкована множина атрибутів БД, які приймають участь у виконанні запиту, *k* – кількість атрибутів запиту;

Схемою зовнішнього впливу Sh^Z – вважаємо систему схем відношень зовнішнього впливу:

$$\mathrm{Sh}^Z = \begin{cases} R_1^Z\left(\mathrm{A}_{11}^Z, \mathrm{A}_{12}^Z, \cdots, \mathrm{A}_{1k_1}^Z\right) \\ R_2^Z\left(\mathrm{A}_{21}^Z, \mathrm{A}_{22}^Z, \cdots, \mathrm{A}_{2k_2}^Z\right) \\ \cdots \\ R_n^Z\left(\mathrm{A}_{n1}^Z, \mathrm{A}_{n2}^Z, \cdots, \mathrm{A}_{nk_m}^Z\right) \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} Sh_{R_1^Z} = \left\{\mathrm{A}_{11}^Z, \mathrm{A}_{12}^Z, \cdots, \mathrm{A}_{1k_1}^Z\right\} \\ Sh_{R_2^Z} = \left\{\mathrm{A}_{21}^Z, \mathrm{A}_{22}^Z, \cdots, \mathrm{A}_{2k_2}^Z\right\} \\ \cdots \\ Sh_{R_n^Z} = \left\{\mathrm{A}_{n1}^Z, \mathrm{A}_{n2}^Z, \cdots, \mathrm{A}_{nk_m}^Z\right\} \end{cases} \quad (17)$$

$K^Z = \{K_i^Z, i = \overline{1,n}\}$, $K^Z \subseteq A^Z$ – множина не ключових атрибутів; $K'^Z = \{K_i'^Z, i = \overline{1,n}\}$, $K'^Z \subseteq A^Z$ – множина ключових атрибутів, n – кількість атрибутів, $A^Z = K^Z \cup K'^Z$; $K''^Z = \{K_i''^Z, i = \overline{1,n}\}$ – множина зовнішніх ключових атрибутів,

$K''^Z \subseteq K'^Z \Rightarrow K''^Z \subseteq A^Z$,
$\left(\left\{K^Z\right\} \cup \left\{K'^Z\right\} \cup \left\{K''^Z\right\}\right) \subseteq Sh^Z$;
$L^Z = \{ L_j^Z \mid L_j^Z = \left(R_1^Z, R_2^Z\right), j = \overline{1,d} \}$ – множина ієрархічних зв'язків між відношеннями, (R^Z_1, R^Z_2) – упорядкована пара, R^Z_1 – основне відношення, R^Z_2 – підлегле відношення, d – загальна кількість ієрархічних зв'язків. В розглянутій схемі функція відображення μ'' отримує вигляд $\mu'' : R^S \to R^Z$. Відображення є бієктивним оскільки R^S є еквівалентом R^Z, $R^S \sim R^Z$, $\left|R^S\right| = \left|R^Z\right|$.

В розгорнутому вигляду модель системи з зовнішнім впливом в якості частини структури бази даних, яка приймає участь в виконанні запиту, має вигляд (17).

$$\left\langle R^Y, A^Y, t, V \right\rangle = \left\langle TR, \mu', \mu'', \gamma', \gamma'', \left\langle R^{MD}, A^{MD}, D^{MD}, ST \right\rangle \right\rangle \left(\begin{array}{c} \left\langle R^S, A^S, Ak^S, A^S_{RES}, C^S, G^S, O^S, F^S, f^S \right\rangle, \\ \left\langle R^Z, D^Z, A^Z, Sh^Z, K^Z, K'^Z, K''^Z, L^Z \right\rangle \end{array} \right) \quad (18)$$

Висновки. Запропонована теоретико-множинна модель перетворення вхідних запитів до вихідних даних в інформаційній системі, яка складається з кортежів, що описують структуру і об'єм даних вихідного відношення, час виконання запиту та містять функції відображення, які описують внутрішні процеси виконання запитів засобами СКБД, дозволяє описати процес зовнішньої оптимізації SQL-запиту на основі локальної моделі керованого процесу.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Писарчук О.О. Оцінювання ефективності інформаційних систем за вектором критеріїв /О.О. Писарчук //Збірник наукових праць ЖВІ НАУ. – 2010. – №3 – С.117-123.
2. Методы повышения эффективности внедрения корпоративных информационных систем [Електронний ресурс] /С.А. Алёшкин, компания "Ламинфо" //Технологии корпоративного управления, ITeam. – 2010. Режим доступу: http://www.iteam.ru/publications/it/section_53/article_1869/
3. Мониторинг и повышение эффективности информационных систем: подход Embarcadero [Електронний ресурс] /В. Дудченко //Software-Testing.Ru. – 2008. Режим доступу: http://software-testing.ru/library/testing/performance-testing/93-embarcadero
4. Гуляев А.И. Временные ряды в динамических базах данных. – М.: Радио и связь, 1989. – 128 с.: ил.
5. Краснодубец Л.А. К вопросу об управлении процесами обработки даннях в глобальних наблюдательных системах /Л.А. Краснодубец //Динам. Системы. – 2000. – №16 – С.187-191.
6. Гинатуллин И.А. Двухуровневая математическая модель корпоративных информационных систем на основе линейных стохастических сетей /И.А. Гинатуллин, В.С. Моисеев //Исследования по информатике. – 2004. – №7. – С.89-100.
7. Зіноватна С.Л. Інформаційна технологія підвищення продуктивності автоматизованих систем методами реструктуризації бази даних: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. тех. наук : спец. 05.13.06 «Інформаційні технології» /С.Л. Зіноватна. – Одеса, 2008. – 18 с.
8. Кунгурцев А.Б. Модель реструктуризации реляционной базы данных путем денормализации схемы отношений /А.Б. Кунгурцев, С.Л. Зиноватная //Тр. Одесск. политехн. ун-та. – Одесса, 2006. – №2 (26). – С.105-111.
9. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 156 с.
10. E.F. Codd. A Relational Model of Data for Large Shared Data Banks. Communications of the ACM, Volume 13, Number 6, June, 1970. – P.379.
11. Марков А.С., Лисовский К.Ю. Базы данных. Введение в теорию и методологи: Учебник. – М.: Финансы и статистика. 2006. – 512 с.
12. Giedrius Slivinskas. Bringing Order to Query Optimization /Giedrius Slivinskas, Christian S. Jensen, Richard T. Snodgrass //ACM SIGMOD Record, Vol. 31, No. 2, June 2002, pp. 5–14. September 2002. A DB Technical Report.
13. Кунгурцев А.Б. Математическая модель объектного представления реляционной базы данных /А.Б. Кунгурцев, А.С. Неізвестний //Тр. Одесск. политехн. ун-та. – 2007. – №1 (27). – С.130-134.
14. Кунгурцев А.Б. Анализ целесообразности реструктуризации базы данных методом введения нисходящей денормализации /А.Б. Кунгурцев, С.Л. Зиноватная //Тр. Одесск. политехн. ун-та. – 2006. – №1 (25). – С.104-109.
15. Кунгурцев А.Б. Имитационная модель таблиц реляционной базы данных /А.Б. Кунгурцев, С.Л. Зиноватная, Мунзер Аль Абдо //Тр. Одесск. политехн. ун-та. – 2011. – №1 (35). – С.90-96.
16. Кунгурцев А.Б. Иерархическая модель объектов для исследования запросов к базе данных /А.Б. Кунгурцев, С.Л. Зиноватная //Тр. Одесск. политехн. ун-та. – 2008. – №2 (30). – С.130-134.
17. Кунгурцев А.Б. Поиск закономерностей в распределении запросов для управления материализованными представлениями /А.Б. Кунгурцев, Ю.Н. Возовиков, Као Ван Ань //Тр. Одесск. политехн. ун-та. – 2008. – №2 (30). – С.135-140.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРИРОДНОЙ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ЛЕСНОГО ФОНДА (НА ПРИМЕРЕ ХЕРСОНСКОЙ ОБЛАСТИ)

УДК 681.3:007.52

ЛЯШЕНКО Елена Николаевна
к.т.н., доцент кафедры Информационных технологий
Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: геоинформационные технологии.
e-mail: lunaways@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Угроза возникновения и распространения пожаров на территории лесного фонда, обусловленная преобладающими на ней типами леса и лесных участков, их природными и другими особенностями, определяющими состав, количество и распределение лесных горючих материалов, а также в значительной степени содержание влаги в этих материалах называется пожарной опасностью (ПО).

Различают 5 классов ПО.

При I классе ПО большинство причин (источников огня) пожаров не вызывает, хотя возможны пожары от источников высоких температур и молний (при сухих грозах). Возникшие и действующие пожары распространяются медленно, неравномерно или прекращают действовать.

При II классе ПО пожары могут возникать от сильных источников огня, однако количество загораний невелико. Скорость распространения огня незначительна.

При III классе ПО большинство источников огня приводит к возникновению лесных пожаров. Пожары интенсивны, выделяют большое количество тепла, быстро распространяются и создают дополнительные мелкие очаги.

При IV классе ПО пожары возникают даже от незначительных источников огня, быстро распространяются и создают дополнительные мелкие очаги.

При V классе ПО пожары возникают от любого источника огня и высоких температур. Горение происходит весьма интенсивно, и огонь быстро распространяется.

Природная ПО лесного фонда, по которой можно судить о возможности возникновения и распространения низовых пожаров в насаждениях различных типов леса, может быть определена расчетным путем по известным величинам метеорологических факторов.

Целью статьи является анализ методов оценки природной ПО в лесах и применение данных методов для оценки ПО лесного фонда Херсонской области.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПРИРОДНОЙ ПО

Методы оценки ПО лесного фонда можно разделить на два вида: краткосрочные (динамические) и долгосрочные [5].

Краткосрочные показатели ПО рассчитываются на основе динамических переменных, таких, как метеорологические параметры и влагосодержание лесных горючих материалов. Для их расчета используются данные, полученные с помощью метеорологических станций.

Долгосрочные показатели ПО основаны на использовании переменных, значения которых не изме-

няются в течение долгого периода времени. К таким переменным относятся, например, топография или тип растительности.

В настоящей статье будут рассматриваться только краткосрочные методы оценки ПО, т.к. поведение лесного пожара в большей степени определяется метеорологическими факторами.

Так, например, Курбатский Н.П. предложил связывать изменение ПО территории только с погодными факторами [1, 2, 5]. Именно этот принцип положен в основу его методики для построения местных (порайонных) шкал ПО по условиям погоды. Шкалы строятся для каждого района по периодам сезона путем установления зависимости числа пожаров в районе от величины лесопожарного показателя засухи. По величине лесопожарного показателя засухи с помощью местных шкал определяется класс ПО для района на текущий день.

Расчет показателя выполняется как баланс влияния иссушающих и увлажняющих метеорологических факторов на влагосодержание эталонного растительного горючего материала. В качестве иссушающих факторов учитываются температура воздуха и недостаток насыщения в виде разности между температурой воздуха и температурой точки росы в одно и то же время, в качестве увлажняющего фактора – количество осадков в виде их суммы за 24 часа.

Группой ученых из Ленинградского научно-исследовательского института лесного хозяйства во главе с Вонским С.М. был разработан метод расчета влажности не только для напочвенного покрова, но и подстилки под ним и верхнего слоя торфа в насаждениях различных типов леса. Этот метод позволяет определить, при каких погодных условиях могут возникнуть низовые и почвенные пожары.

Для расчета влажности напочвенного покрова предложен показатель ПВ-1, а для расчета влажности подстилки – показатель ПВ-2 [3].

Расчет показателя влажности напочвенного покрова ПВ-1 на утро текущего дня осуществляется по формуле [3]:

$$\Gamma'_j = \begin{cases} \left[\Gamma'_{j-1} + t_{j-1}\left(t_{j-1} - \tau_{j-1}\right)\right]\xi'\left(f_j, \Gamma'_{j-1}\right) при\ t_{j-1} > 0; \\ \left[\Gamma'_{j-1} + t_{j-1} - \tau_{j-1}\right]\xi'\left(f_j, \Gamma_{j-1}\right) при\ t_{j-1} \le 0, \end{cases} \quad (1)$$

где Γ'_j - величина показателя ПВ-1 на утро текущего дня; t_{j-1} - температура воздуха на 13-15 часов предшествующего дня, ${}^0C$; τ_{j-1} - температура точки росы на 13-15 часов предшествующего дня, ${}^0C$; Γ'_{j-1} – величина показателя ПВ-1 на утро предшествующего дня; f_j – суточная норма осадков на утро текущего дня, мм; $\xi'\left(f_j, \Gamma'_{j-1}\right)$ - коэффициент учета осадков.

Расчет показателя влажности подстилки ПВ-2 производится по формуле [3]:

$$\Gamma''_{j-1} = \begin{cases} \left[\Gamma''_{j-1}\xi''\left(\Gamma''_{j-1}, \sum_j\right) + \left(t_{j-1} - \tau_{j-1}\right)t_{j-1}\xi''\left(f_j\right)\right] при\ t_{j-1} > 0; \\ \left[\Gamma''_{j-1}\xi''\left(\Gamma''_{j-1}\sum_j\right) + \left(t_{j-1} - \tau_{j-1}\right)\xi''\left(f_j\right)\right] при\ t_{j-1} \le 0, \end{cases} \quad (2)$$

где Γ''_j – показатель влажности подстилки ПВ-2 на утро текущего дня.

$$\xi'''\left(f_j\right) = \begin{cases} 1, если\ f_j < 1{,}6мм; \\ 0, если\ f_j \ge 1{,}6мм. \end{cases} \quad (3)$$

$$\xi''\left(\Gamma''_{j-1}, \sum_j\right) = \begin{cases} 1, если\ \sum_j < 4{,}6мм; \\ табличная\ функция, если\ \sum_j \ge 4{,}6мм. \end{cases} \quad (4)$$

$$\sum_j = \begin{cases} \sum_{j+1} + f_j, если\ \sum_{j-1} < 4{,}6мм; \\ f_j, если\ \sum_{j-1} \ge 4{,}6мм. \end{cases} \quad (5)$$

По значениям наименьшей величины показателя ПВ-1, при которых возможно возникновение низовых пожаров, наиболее типичные группы типов леса были разделены на пять классов природной пожарной опасности насаждений. Первый класс – наиболее пожароопасный, насаждения приурочены к сухим условиям местопроизрастания и напочвенный покров в них после осадков высыхает, при соответствующей погодной ситуации, буквально на следующий день. С нарастанием величины класса увеличивается число дней после осадков, когда возможны низовые пожары. Наиболее редко пожары возникают в пятом классе - там они возможны после устойчивой засухи.

По величине показателя ПВ-2 можно судить о возможности возникновения подстилочно-гумусовых и торфяных пожаров по каждому из пяти классов пожарной опасности насаждений.

По вычисленным значениям показателей влажности ПВ-1 и ПВ-2 можно судить о том, когда и в насаждениях каких групп типов леса возможны пожары, и, что

особенно важно, определить время возникновения почвенных пожаров.

В настоящее время в Украине и России природную пожарную опасность определяют посредством комплексного метеорологического показателя горимости лесного фонда В.Г. Нестерова (ПН).

Показатель В.Г. Нестерова учитывает совместное влияние температуры воздуха и температуры точки росы на высыхание лесных горючих материалов и тем самым характеризует степень засушливости погоды.

Показатель В.Г. Нестерова рассчитывается по следующей формуле [4]:

$$ПН = \sum_{1}^{n} (T - T_d) * T_d, \quad (6)$$

где T – температура воздуха; T_d – точка росы, то есть температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным; n – число дней, прошедших после дождя, включая последний день выпадения осадков.

За факт выпадения осадков принимаются любые значения, начиная с 3 мм за 24 ч, осадки меньше 3 мм не учитываются.

ОЦЕНКА ПРИРОДНОЙ ПО ЛЕСНОГО ФОНДА ХЕРСОНСКОЙ ОБЛАСТИ

Проведем оценку природной ПО лесного фонда Херсонской области с использованием комплексного метеорологического показателя В.Г. Нестерова.

Данный показатель может изменяться от одного до нескольких тысяч градусов, а в периоды устойчивой сухой и жаркой погоды превышать 10000.

Для характеристики степени пожарной опасности весь диапазон значений делится на пять интервалов – классов.

Шкала природной ПО для Херсонской области представлена в табл. 1.

I класс характеризуется отсутствием пожарной опасности в лесу, II класс – малой ПО, III класс – средней ПО, IV класс – высокой ПО, V класс – чрезвычайной ПО.

Данные для расчета класса природной ПО содержатся в журнале ПО по условиям погоды и представлены в табл. 2.

Таблица 1 –

Шкала природной ПО для Херсонской области

Период пожароопасного сезона	ПН				
	Классы ПО				
	I	II	III	IV	V
Весенне-летний (с 1 марта по 9 июня)	150	700	2000	10000	>10000
Летний (с 10 июня по 31 августа)	550	2000	5500	10000	>10000
Летне-осенний (с 1 сентября по 30 ноября)	200	800	1400	10000	>10000

Таблица 2 –

Данные для расчета класса природной ПО

Дата	Кол-во осадков	Т воздуха	Т точ. росы	Разница	ПН	Класс ПО
10.06.2012	осадков не было	27	7,8	19,2	518,4	I
11.06.2012	осадков не было	26	6,7	19,3	1020,2	I
12.06.2012	осадков не было	25	7,9	17,1	1447,7	I
13.06.2012	осадков не было	25	5,8	19,2	1927,7	I
14.06.2012	осадков не было	24	8,9	15,1	2290,1	II
15.06.2012	осадков не было	24	6,9	17,1	2700,5	II
16.06.2012	осадков не было	27	5,2	21,8	3289,1	II
17.06.2012	осадков не было	25	5,7	19,3	3771,6	II
18.06.2012	осадков не было	26	6,3	19,7	4283,8	II
…	…	…	…	…	…	…

Полученные за расчетный период фактические значения ПН для Херсонской области переведены в классы природной ПО.

На рис. 1 представлена оценка природной ПО в лесах Херсонской области за наиболее пожароопасный период с 10 июня 2012 г. по 31 августа 2012 г.

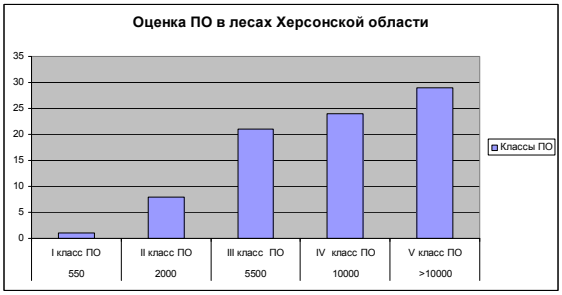


Рисунок 1 – Оценка природной ПО в лесах Херсонской области

Из рис. 1. следует, что в период летнего пожароопасного сезона в лесах Херсонской области преобладают III, IV и V классы природной ПО.

График нарастания комплексного показателя пожарной опасности за период с 10 июня 2012 г. по 31 августа 2012 г. приведен на рис. 2.

Из графика (рис. 2) следует, что до 25.06.2012 в Херсонской области наблюдалось интенсивное нарастание пожарной опасности (НП=9695,5). Однако, после выпадения небольшого дождя (3,3 мм) 30.06.2012 комплексный показатель пожарной опасности составил 587,6. В последующие дни, несмотря на колебания температуры воздуха, а также точки росы, величина этого показателя непрерывно росла 8617,3. Далее осадки интенсивностью 3,2 мм, выпавшие 11.07.2012, снизили комплексный показатель пожарной опасности до значения – 1109,5. После чего комплексный показатель ПО снова начал увеличиваться (ПН=20498,8), что соответствует чрезвычайной пожарной опасности в лесу.

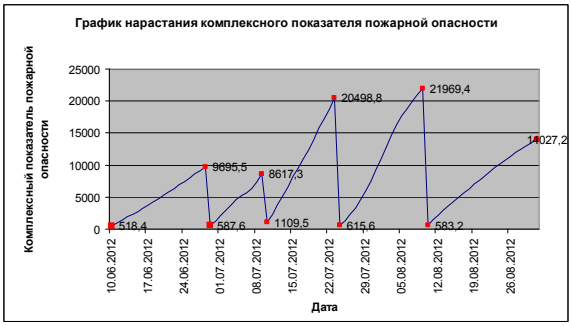


Рисунок 2 – График нарастания комплексного показателя пожарной опасности

На графике видно, что такие колебания ПО наблюдались в течение всего пожароопасного периода.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что угроза возникновения лесных пожаров в Херсонской области чрезвычайно велика. Лишь небольшие осадки немного снижают величину комплексного показателя ПО, однако и им не удается снизить ее до минимального значения (ПН=550).

ВЫВОД

Приведено описание методов оценки природной ПО. Проведена оценка ПО лесного фонда Херсонской области, с учетом метеорологических факторов (температуры воздуха, температуры точки росы, количества осадков).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. – 161 с.
2. Курбатский Н.П. Прогнозирование лесных пожаров с помощью ЭВМ /Н.П. Курбатский, Б.И. Дорогов, Г.А. Доррер //Лесное хозяйство. – 1976. – № 7. – С.51-55.
3. Вонский С.М. Лесные пожары и способы их тушения /С.М. Вонский, В.Б. Наумов, В.А. Жданко – Л.: Ленинградский НИИ лесного хозяйства, 1989. – 56 с.
4. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. – М.: Гослесбумиздат, 1949. – 74 с.
5. Ходаков В.Е. Лесные пожары: методы исследования /В.Е. Ходаков, М.В. Жарикова. – Херсон: Гринь Д.С., 2012. – 456 с.

АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СУДНОРЕМОНТІ

УДК 004.652:623.81

ТЕРЕЩЕНКОВА Оксана Викторовна
к.т.н, доцент кафедры информационных технологий,
компьютерних систем и сетей Херсонской государственной морской академии.
Научные интересы: системы поддержки принятия решений в судоремонте,
многокритериальная оптимизация, автоматизированные управляющие системы,
корпоративные информационные системы.

ВСТУП

Суднoремонтна галузь, поряд із суднобудуванням, характеризують науково-технічний рівень країни, акумулюючи у своїй продукції всі досягнення металургії, машинобудування, електроніки й новітніх технологій.

У той же час, статистика показує, що судноремонт, на відміну від суднобудування, є низькорентабельною галуззю, досить чутливою до зміни економічної кон'юнктури. У цьому зв'язку найважливішу роль починає грати здатність менеджменту судноремонтного підприємства залучити замовлення й, головне, ефективно управляти їхнім виконанням, оскільки це створює довгострокову репутацію, забезпечує довіру судновласників. Судновласник, як замовник, висуває вимоги по трьох ключових позиціях: якість, строки й вартість виконання робіт. Природно, при цьому враховуються технічні можливості судноремонтного заводу (СРЗ) – його спеціалізація, реалізований технологічний ланцюжок, тобто принципова можливість виконати ремонт судна даного типу.

Століття інформаційних технологій диктує нові підходи до вирішення завдань планування та управління виробництвом. На даний момент, управління практично будь-яким підприємством являє собою таку собі суміш з теорії західного менеджменту (яка багато в чому не є адекватною існуючим на українському ринку реаліям), і пострадянського досвіду, який хоча і багато в чому гармонує з сучасними життєвими принципами, але вже не відповідає жорстким вимогам ринкової конкуренції. Сьогодні, займаючись плануванням і аналізом в управлінні виробництвом, доводиться одночасно вирішувати масу організаційних питань. Це залишає все менше і менше часу на сам бізнес. Виникає необхідність автоматизувати як окремі робочі місця, так і цілі технологічні ланцюжки. У зв'язку з цим керівники підприємства, що розраховують на ефективну роботу в сучасних умовах, змушені шукати вирішення питань, пов'язаних зі стратегічним управлінням. Їх вирішення, у свою чергу, практично неможливо здійснити без використання сучасних інформаційних технологій

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Прийняття оптимального рішення при визначенні максимально вигідної кількості працівників судноремонтного заводу висуває високі вимоги до якості рішення, прийнятого керівником підприємства. Задачею даної статті є дослідження критеріїв для оцінки рішень керівника.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Прийняття рішень являє собою вибір одного з деякої множини варіантів: $E_i \in E$. Розглянемо випадок, що найбільш часто зустрічається на практиці в судноремонті, коли має місце лише кінцеве число варіантів E_1, E_2,

… , E_i, … , E_m. При необхідності підхід може бути поширений і на нескінчену множину варіантів.

Домовимося, що кожному варіанту E_i однозначно відповідає деякий результат e_i. Ці результати повинні допускати кількісну оцінку, яку теж позначаємо відповідно e_i. Нас цікавить варіант з найбільшим значенням результату, тобто метою нашого вибору є :

$$\max_i e_i \,, \qquad (1)$$

де e_i – оцінки, що характеризують корисність або надійність, або вигоду.

Протилежну ситуацію з оцінкою витрат можна дослідити шляхом мінімізації оцінки або розглядаючи від'ємні величини корисності.

Таким чином, вибір оптимального варіанта здійснюється за допомогою критерію:

$$E_O = \left\{ E_{i0} \mid E_{i0} \in E \wedge e_{i0} = \max_i e_i \right\}, \qquad (2)$$

тобто множина E_o оптимальних варіантів складається з таких варіантів E_{io}, які належать множині E всіх варіантів і оцінка e_{io} яких є максимальною серед оцінок e_i [1, 2].

Вибір рішення за критерієм (1) може бути неоднозначне, бо максимальний результат може досягатись на множині всіх результатів багатократно. Необхідність вибору одного з деяких однаково гарних рішень на практиці, як завжди, не додає особливих труднощів.

Розглянутий випадок є випадком детермінованих рішень, бо кожному варіанту рішення відповідає єдиний зовнішній стан, чим однозначно визначається єдиний результат. Це найпростіший частковий випадок. В більш складних структурах кожному варіанту рішення E_i внаслідок різних зовнішніх умов можуть відповідати різні зовнішні стани F_j і результати рішень будуть складати матрицю e_{ij}.

Розширення рішень в порівнянні з детермінованою ситуацією пов'язано як з недостатністю інформації, так і з багатообразністю технічних можливостей.[3,4]

Керівник повинен вибрати рішення з найкращим результатом, але оскільки умови F_j йому не завжди відомі, то необхідно приймати до уваги всі оцінки e_{ij}, що відносяться до варіанта E_i. Отже задача максимізації $\max_k e_s$ згідно критерію (2) замінюється іншою, що враховує всі наслідки будь-якого з варіантів рішення E_i.

Таблиця 1

	F_1	**F_2**	**F_3**	**…**	**F_j**	**…**	**F_n**
E_1	e_{11}	e_{12}	e_{13}	…	e_{1j}	…	e_{1n}
E_2	e_{21}	e_{22}	e_{23}	…	e_{2j}	…	e_{2n}
…	…	…	…	…	…	…	…
E_i	e_{i1}	e_{i2}	e_{i3}	…	e_{ij}	…	e_{in}
…	…	…	…	…	…	…	…
E_m	e_{m1}	e_{m2}	e_{m3}	…	e_{mj}	…	e_{mn}

Для знаходження однозначного найбільш вигідного рішення необхідно ввести відповідні оцінювальні (цільові) функції (ОФ). При цьому матриця рішень $||e_{ij}||$ зводиться до одного стовпця. Кожному варіанту E_i приписується деякий результат e_{ir}, що в цілому характеризує всі наслідки цього рішення.

Проблема полягає в тому, який зміст надати e_{ir}. Для комбінації найбільшого і найменшого результатів можна прийняти

$$e_{ir} = \min_j e_{ij} + \max_j e_{ij} \qquad (3)$$

найкращий в цьому випадку результат має вигляд:

$$\max_i e_{ir} = \max_i (\min_j e_{ij} + \max_j e_{ij}) \qquad (4)$$

Формуючи бажаний результат керівник виходить з компромісу між оптимальним і песимістичним підходами.

Матриця рішень може бути меншого об'єму або мати єдиний стовпчик, якщо буде відома повна інформація про зовнішній стан F_j, який потрібно враховувати. Це відповідає елементарному порівнянню різних управлінських рішень.

Матриця рішень може навіть звестись до одного рядка. Цей випадок – фатальна ситуація прийняття рішень, коли в силу обмежень технічного характеру, зовнішніх умов та інших причин залишається єдиний варіант E_i, хоча його подальші наслідки залежать від умов F_j, а результат рішення залишається невідомим.

Розглянемо декілька класичних критеріїв прийняття рішень:

Мінімаксний критерій (ММ) – цей критерій використовує ОФ, що відповідає крайній обережності.

При $Z_{mm} = \max_i e_{ir}$ та $e_{ir} = \min_j ej$ Справедливим є співвідношення:

$$E_0 = \{E_{i0} | E_{i0}\} \in E \wedge e_{i0} = \max_i \max_j e_{ij} \quad (5)$$

де Z_{mm} – ОФ ММ-критерію.

Умова $E_{i0} \in E$ нагадує, що сукупність варіантів необхідно досліджувати найповнішим чином, щоб була забезпечена оптимальність варіанта, що вибирається.

Правило вибору рішень згідно з ММ – критерієм можна інтерпретувати таким чином:

Матриця рішень $\|e_{ij}\|$ доповнюється ще одним стовпчиком з найменших результатів e_{ir} кожного рядка. Вибрати слід ті варіанти E_{i0}, в рядках яких стоять найбільші значення e_{ir} цього стовпчика. Вибрані варіанти повністю виключають ризик, бо керівник не може вибрати гірший результат, ніж той, на який він очікує. Для будь-яких умов F_j результат не може бути нижчим, ніж Z_{mm}. Ця властивість дозволяє вважати ММ-критерій одним з фундаментальних. В технічних задачах він використовується найчастіше як свідомо, так і несвідомо. Між тим відсутність ризику веде до втрат. [1,3,4]

При побудові ОФ (згідно ММ-к) кожний варіант E_j представляється лише одним з своїх результатів $e_{ir} = \max e_{ij}$.

Критерій Баєса–Лапласа (BL), навпаки, враховує кожний з можливих результатів.

Нехай q_j – ймовірність появи зовнішнього стану F_j, тоді для BL-критерію (BL-к).

$$Z_{bl} = \max e_{ir}$$

$$e_{ir} = \sum_{j=1}^{n} e_{ij} q_j \quad (6)$$

$$E_0 = \left\{ E_{i0} | E_{i0} \in E \wedge e_{i0} = \sum_{j=1}^{n} e_{ij} q_j \wedge \sum_{j=1}^{n} q_j = 1 \right\}$$

Правило вибору: Матриця рішень $\|e_{ij}\|$ доповнюється ще одним стовпцем, що містить математичне подівання значень кожного з рядків. Вибираються ті варіанти E_{i0}, в рядках яких стоїть найбільше значення e_{ir} цього стовпця.

Ситуація, в якій приймається рішення, характеризується наступними обставинами:

ймовірності появи станів F_j відомі і не залежать від часу;

рішення реалізується (теоретично) нескінченне число разів;

для малого числа реалізацій рішення допускається деякий ризик.

Початкова позиція керівника (людини, що приймає рішення (ЛПР)), що використовує BL-k, більш оптимістична ніж при ММ-к, але вона припускає більш високий рівень інформованості і достатньо довгі реалізації.

Критерій Севіджа (S) відповідає позиції песимізму. За допомогою позначень $a_{ij} = \max_i e_{ij} - e_{ij}$ та $e_{ir} = \max_j a_{ij} = \max_j (\max_i e_{ij} - e_{ij})$ формується ОФ $Z_s = \min_i e_{ir} = \min_i [\max_j (\max_i e_{ij} - e_{ij})]$ і будується множина оптимальних варіантів рішення:

$$E_0 = \{E_{i0} | E_{i0} \in E \wedge e_{i0} = \min e_{ir}\} \quad (7)$$

Величину $a_{ij} = \max_i e_{ij} - e_{ij}$ можна трактувати як максимальний виграш, якщо в стані F_j замість варіанта E_i вибрати інший, оптимальний для цього значення стану варіант.

Можна також інтерпретувати a_{ij} як втрати (штрафи), що виникають в стані F_j при заміні оптимального варіанта на варіант E_i.

Тепер Z_s – максимально можливі втрати мінімізуються за рахунок вибору, що підходящого варіанта E_i.

Правило вибору рішення згідно критерію S:

Кожний елемент матриці рішень $\|e_{ij}\|$ віднімається від найбільшого результату $\max_i e_{ij}$ відповідного стовпця. Різниці a_{ij} утворюють матрицю залишків $\|e_{ij}\|$. Ця матриця доповнюється стовпцем найбільших різниць e_{ir}. Вибираються ті варіанти E_{i0}, в рядках яких стоїть найменше значення для цього стовпця.

З точки зору результатів матриці $\|e_{ij}\|$ S-критерій пов'язаний з ризиком, однак з позиції матриці $\|e_{ij}\|$ він від ризику вільний. В інших випадках він до ситуації

прийняття рішення ставить ті ж вимоги, що і у випадку ММ-критерію.

Вимоги, що ставляться до ситуації, роблять можливим застосування класичних критеріїв тільки для ідеалізованих практичних рішень.

У випадках, коли вимагається дуже сильна ідеалізація, можна одночасно по черзі використовувати різні критерії. Після цього з декількох варіантів, які відібрані як оптимальні, все таки вольовим чином виділяють остаточне рішення. Такий підхід дозволяє послабити вплив суб'єктивного фактора.

Розглянемо приклад для прийняття рішення керівником підприємства, коли судно прийшло на плановий ремонт. Припустимо наступні варіанти рішень:

E_1 – повна перевірка суднових агрегатів;

E_2 – мінімальна перевірка;

E_3 – відмова від перевірки, заміна лише зношених механізмів.

Судно може знаходитись в таких станах:

F_1 – несправностей немає;

F_2 – має місце незначна несправність;

F_3 – має місце серйозна несправність.

Ремонт включає витрати на перевірки і знешкодження несправностей, а також витрати, що пов'язані з втратами при простої судна. Варіанти рішень про перевірку судна та їх оцінки (в 10^3) згідно ММ- та BL-критеріям для q_l=0,33 зведемо в таблицю:

Таблиця 2

	F_1	**F_2**	**F_3**	**ММ-критерій**		**BL-критерій**	
				$e_{ir}=\min_j e_{ij}$	$e_{ir}=\max_i e_{ir}$	$e_{ir}=\sum e_{ij}q_l$	$e_{ir}=\max_i e_{ir}$
E_1	-20,0	-22,0	-25,0	-25,0	-25,0	-22,33	
E_2	-14,0	-23,0	-31,0	-31,0		-22,07	
E_3	0	-24,0	-40,0	-40,0		-21,33	-21,33

ММ-критерій пропонує рішення E_1– повну перевірку судна, а BL – критерій, враховуючи, що всі стани судна рівно імовірні, рекомендує відмовитись від перевірки ($E_0 = \{E_3\}$). Матрицю залишків та їх оцінки (в 10^3) згідно S-критерію зведемо в таблицю:

S-критерій рекомендує мінімальну перевірку ($E_0 = \{E_2\}$). Кожен критерій пропонує інше рішення. Для прийняття доцільно отримати додаткову інформацію про саму ситуацію. Якщо рішення, що приймається, відноситься до декількох суден, які одночасно прийшли на планову перевірку, то доцільно використовувати BL-критерій. Якщо ж число суден незначне, то більшу вагу мають більш обережні рекомендації S- або ММ-критеріїв. Для технічних задач різні критерії призводять до одного результату. Припустимо, що на даному судні серйозна несправність (стан F_3) зустрічається вдвічі частіше, ніж будь-який інший стан ($q_1 = q_2$; q_3=0,5); тоді BL – критерій, як і ММ-критерій, рекомендує повну перевірку.

Таблиця 3

	F_1	**F_2**	**F_3**	**S-критерій**	
				$e_{ir}=\max_j a_{ij}$	$e_{ir}=\min_i e_{ir}$
E_1	-20,0	-22,0	-25,0	-25,0	-25,0
E_2	-14,0	-23,0	-31,0	-31,0	
E_3	0	-24,0	-40,0	-40,0	

Бувають випадки коли всі критерії дають однакові результати. Якщо за допомогою відповідних заходів вдається знизити витрати на повну перевірку і в першому рядку будемо мати: e_{11}= -18,0*10^3; e_{12}= -20,0*10^{-3}; e_{13}= -22,0*10^{-3}, то всі три критерії будуть рекомендувати повну перевірку. Будь-який варіант є слабодомінуючим. Сильне домінування має місце для всіх результатів e_{1j} одного з варіантів, якщо справедливо:

$$e_{1j} \le e_{ij}\ e_{1j}, \text{ для } j=1, \ldots, n \text{ та}$$
$$e_{1j} \le e_{ij}, \text{ хоча б для одного } j. \quad (8)$$

Над варіантом E_1 інші варіанти домінують, тому його можна виключити з матриці рішень, так як для всякого F_j він дає гірший результат ніж інші. Якщо якийсь варіант E_1 сильно домінує, тобто

$$e_{1j} \le e_{ij}\ e_{1j}, \text{ для всіх } j=1, \ldots, n \text{ та}$$
$$e_{1j} \le e_{ij}, \text{ хоча б для одного } j, \quad (9)$$

то при відсутності інформації про зовнішні стани для будь-якого F_j-варіант E_1 – найкращий.

Для наведеного прикладу (E_1 – повна перевірка, E_2 – мінімальна перевірка, E_3 – відмова від перевірки) в таблиці 4 зведено рекомендації для прийняття рішень згідно розглянутих критеріїв.

Таблиця 4

E	MM	BL	S	BL(MM)	P
E_1	+		+	$\varepsilon_{доп} < 15 \cdot 10^3$	$a = 41 \cdot 10^3$
E_2					
E_3		$q_j = 0.33$		$\varepsilon_{доп} \geq 15 \cdot 10^3$	$a = 200 \cdot 10^3$

З таблиці 4 видно, що застосування штучних критеріїв підвищує надійність рішень. Варіант E_2 є недоцільним з різних точок зору.

Критерій BL(MM) встановлює рівень ризику, який необхідно перевищити, щоб вибрати варіант E_3. Якщо число реалізації нашого рішення не досить велике, то слід віддати перевагу варіанту E_1, хоч класичні критерії не віддають перевагу одностайно на користь якогось з варіантів.

Ще одна з важливих сфер прийняття рішень у судноремонті – це прогнозування оптимальної кількості робітників в умовах економічної кризи. Для рішення цього питання матриця рішень формується виходячи з такої формули:

$$E = C * K - C_1 * K - C_2 * K - C_3 * N - C_4 * N_1 - \begin{Bmatrix} C_6 * (N - N_1), \text{ якщо } N_1 < N \\ C_5 * (N_2 - N), \text{ якщо } N_2 > N \end{Bmatrix}, \quad (10)$$

де E – прибуток заводу за розрахунковий рік;

$C = 2500000$ – середнє значення бюджету на ремонт одного судна за розрахунковий рік;

$C_1 = 625000$ – вартість матеріалів та запасних частин за розрахунковий рік;

$C_2 = 125000$ – транспортні витрати за розрахунковий рік;

$C_3 = 8400$ – відрахування до фондів за розрахунковий рік ;

$C_4 = 24000$ – середня заробітна плата робітників заводу за розрахунковий рік;

$C_5 = 48000$ – середня заробітна плата робітників підрядчиків за розрахунковий рік;

$C_6 = 6000$ – середня заробітна плата робітників під час простою за розрахунковий рік;

K – кількість суден, що ремонтується за розрахунковий рік;

N – кількість робітників заводу за розрахунковий рік ;

N_1 – кількість робітників заводу, які приймають участь у даному ремонті;

N_2 – кількість робітників, яка необхідна для ремонту.

При цьому

$$N_2 = N_1 + dN_2, \quad (11)$$

де dN_2 – кількість найманих працівників за розрахунковий рік.

Середнє значення бюджету на ремонт одного судна обчислюється за формулою:

$$C = (\sum r / k_1) * \inf, \quad (12)$$

де

r=24390200 – сума вартості усіх робіт (у гривнях), що були виконані на провідному судноремонтному заводі за період попереднього перед розрахунковим роком рік;

K_1=12 – кількість суден, що ремонтувалися за розрахунковий рік;

inf=1.23 – коефіцієнт інфляції за розрахунковий рік.

Вартість матеріалів та запасних частин обчислюється за формулою:

$$C_1 = (\sum m / k_1) * \inf, \quad (13)$$

де

m=22727000 – сума вартості усіх матеріалів (у гривнях), що були використані під час ремонту за період попереднього перед розрахунковим роком;

K_1=12 – кількість суден, що ремонтувалися за період попереднього перед розрахунковим роком рік;

inf=1,32 – коефіцієнт інфляції за розрахунковий рік;

Відрахування до фондів обчислюється наступним чином:

$$C_3 = N * C_4 * 0.35. \quad (14)$$

Кількість робітників заводу припускаємо від 50 до 600 (кількість за розрахунковий рік).

Кількість замовлень прогнозуємо від 1 до 20.

Для прискорення та точності розрахунків було розроблено програмний модуль, який генерує матрицю рішень за розглянутими критеріями:

Мінімаксний критерій

Рекомендоване рішення (E_7) показано на рис. 1.

N		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	eir
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
50	E01	130000	800000	1470000	1996000	2594000	960000	-2330000	-2020000	-2430000	-2480000	-4690000	-5100000	-6590000	-7000000	-6834000	-8180000	-7150000	-7560000	-6530000	-6220000	-8180000
75	E02	-230000	1250000	2460000	2986000	3584000	1950000	-1340000	-1030000	-1440000	-1490000	-3700000	-4110000	-5600000	-6010000	-5844000	-7190000	-6160000	-6570000	-5540000	-5230000	-7190000
100	E03	-590000	890000	2370000	3814000	4574000	2940000	-350000	-40000	-450000	-500000	-2710000	-3120000	-4610000	-5020000	-4854000	-6200000	-5170000	-5580000	-4550000	-4240000	-6200000
125	E04	-950000	530000	2010000	3454000	4916000	3930000	640000	950000	540000	490000	-1720000	-2130000	-3620000	-4030000	-3864000	-5210000	-4180000	-4590000	-3560000	-3250000	-5210000
150	E05	-1310000	170000	1650000	3094000	4556000	4920000	1630000	1940000	1530000	1480000	-730000	-1140000	-2630000	-3040000	-2874000	-4220000	-3190000	-3600000	-2570000	-2260000	-4220000
175	E06	-1670000	-190000	1290000	2734000	4196000	5100000	2620000	2930000	2520000	2470000	260000	-150000	-1640000	-2050000	-1884000	-3230000	-2200000	-2610000	-1580000	-1270000	-3230000
200	E07	-2030000	-550000	930000	2374000	3836000	4740000	3610000	3920000	3510000	3460000	1250000	840000	-650000	-1060000	-894000	-2240000	-1210000	-1620000	-590000	-280000	-2240000
225	E08	-2390000	-910000	570000	2014000	3476000	4380000	4600000	4910000	4500000	4450000	2240000	1830000	340000	-70000	96000	-1250000	-220000	-630000	400000	710000	-2390000
250	E09	-2750000	-1270000	210000	1654000	3116000	4020000	4510000	5900000	5490000	5440000	3230000	2820000	1330000	920000	1086000	-260000	770000	360000	1390000	1700000	-2750000
275	E10	-3110000	-1630000	-150000	1294000	2756000	3660000	4150000	5540000	6480000	6430000	4220000	3810000	2320000	1910000	2076000	730000	1760000	1350000	2380000	2690000	-3110000
300	E11	-3470000	-1990000	-510000	934000	2396000	3300000	3790000	5180000	6390000	7420000	5210000	4800000	3310000	2900000	3066000	1720000	2750000	2340000	3370000	3680000	-3470000
325	E12	-3830000	-2350000	-870000	574000	2036000	2940000	3430000	4820000	6030000	7330000	6200000	5790000	4300000	3890000	4056000	2710000	3740000	3330000	4360000	4670000	-3830000
350	E13	-4190000	-2710000	-1230000	214000	1676000	2580000	3070000	4460000	5670000	6970000	7190000	6780000	5290000	4880000	5046000	3700000	4730000	4320000	5350000	5660000	-4190000
375	E14	-4550000	-3070000	-1590000	-146000	1316000	2220000	2710000	4100000	5310000	6610000	7370000	7770000	6280000	5870000	6036000	4690000	5720000	5310000	6340000	6650000	-4550000
400	E15	-4910000	-3430000	-1950000	-506000	956000	1860000	2350000	3740000	4950000	6250000	7010000	8220000	7270000	6860000	7026000	5680000	6710000	6300000	7330000	7640000	-4910000
425	E16	-5270000	-3790000	-2310000	-866000	596000	1500000	1990000	3380000	4590000	5890000	6650000	7860000	8260000	7850000	8016000	6670000	7700000	7290000	8320000	8630000	-5270000
450	E17	-5630000	-4150000	-2670000	-1226000	236000	1140000	1630000	3020000	4230000	5530000	6290000	7500000	8440000	8840000	9006000	7660000	8690000	8280000	9310000	9620000	-5630000
475	E18	-5990000	-4510000	-3030000	-1586000	-124000	780000	1270000	2660000	3870000	5170000	5930000	7140000	8080000	9290000	9996000	8650000	9680000	9270000	10300000	10610000	-5990000
500	E19	-6350000	-4870000	-3390000	-1946000	-484000	420000	910000	2300000	3510000	4810000	5570000	6780000	7720000	8930000	10284000	9640000	10670000	10260000	11290000	11600000	-6350000
525	E20	-6710000	-5230000	-3750000	-2306000	-844000	60000	550000	1940000	3150000	4450000	5210000	6420000	7360000	8570000	9924000	10630000	11660000	11250000	12280000	12590000	-6710000
550	E21	-7070000	-5590000	-4110000	-2666000	-1204000	-300000	190000	1580000	2790000	4090000	4850000	6060000	7000000	8210000	9564000	10540000	12110000	12240000	13270000	13580000	-7070000
575	E22	-7430000	-5950000	-4470000	-3026000	-1564000	-660000	-170000	1220000	2430000	3730000	4490000	5700000	6640000	7850000	9204000	10180000	11750000	12960000	14260000	14570000	-7430000
600	E23	-7790000	-6310000	-4830000	-3386000	-1924000	-1020000	-530000	860000	2070000	3370000	4130000	5340000	6280000	7490000	8844000	9820000	11390000	12600000	14170000	15560000	-7790000

Рисунок 1 – Матриця рішень за критерієм MM

Критерій Байєса-Лапласа

Рекомендоване рішення (E_{17}) показано на рис. 2.

N		F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20	eir
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
50	E01	130000	800000	1470000	1996000	2594000	960000	-2330000	-2020000	-2430000	-2480000	-4690000	-5100000	-6590000	-7000000	-6834000	-8180000	-7150000	-7560000	-6530000	-6220000	-3862330.00
75	E02	-230000	1250000	2460000	2986000	3584000	1950000	-1340000	-1030000	-1440000	-1490000	-3700000	-4110000	-5600000	-6010000	-5844000	-7190000	-6160000	-6570000	-5540000	-5230000	-2973580.00
100	E03	-590000	890000	2370000	3814000	4574000	2940000	-350000	-40000	-450000	-500000	-2710000	-3120000	-4610000	-5020000	-4854000	-6200000	-5170000	-5580000	-4550000	-4240000	-2119390.00
125	E04	-950000	530000	2010000	3454000	4916000	3930000	640000	950000	540000	490000	-1720000	-2130000	-3620000	-4030000	-3864000	-5210000	-4180000	-4590000	-3560000	-3250000	-1328920.00
150	E05	-1310000	170000	1650000	3094000	4556000	4920000	1630000	1940000	1530000	1480000	-730000	-1140000	-2630000	-3040000	-2874000	-4220000	-3190000	-3600000	-2570000	-2260000	-563020.00
175	E06	-1670000	-190000	1290000	2734000	4196000	5100000	2620000	2930000	2520000	2470000	260000	-150000	-1640000	-2050000	-1884000	-3230000	-2200000	-2610000	-1580000	-1270000	170480.00
200	E07	-2030000	-550000	930000	2374000	3836000	4740000	3610000	3920000	3510000	3460000	1250000	840000	-650000	-1060000	-894000	-2240000	-1210000	-1620000	-590000	-280000	882380.00
225	E08	-2390000	-910000	570000	2014000	3476000	4380000	4600000	4910000	4500000	4450000	2240000	1830000	340000	-70000	96000	-1250000	-220000	-630000	400000	710000	1594280.00
250	E09	-2750000	-1270000	210000	1654000	3116000	4020000	4510000	5900000	5490000	5440000	3230000	2820000	1330000	920000	1086000	-260000	770000	360000	1390000	1700000	2257580.00
275	E10	-3110000	-1630000	-150000	1294000	2756000	3660000	4150000	5540000	6480000	6430000	4220000	3810000	2320000	1910000	2076000	730000	1760000	1350000	2380000	2690000	2841230.00
300	E11	-3470000	-1990000	-510000	934000	2396000	3300000	3790000	5180000	6390000	7420000	5210000	4800000	3310000	2900000	3066000	1720000	2750000	2340000	3370000	3680000	3370880.00
325	E12	-3830000	-2350000	-870000	574000	2036000	2940000	3430000	4820000	6030000	7330000	6200000	5790000	4300000	3890000	4056000	2710000	3740000	3330000	4360000	4670000	3822230.00
350	E13	-4190000	-2710000	-1230000	214000	1676000	2580000	3070000	4460000	5670000	6970000	7190000	6780000	5290000	4880000	5046000	3700000	4730000	4320000	5350000	5660000	4257380.00
375	E14	-4550000	-3070000	-1590000	-146000	1316000	2220000	2710000	4100000	5310000	6610000	7370000	7770000	6280000	5870000	6036000	4690000	5720000	5310000	6340000	6650000	4619630.00
400	E15	-4910000	-3430000	-1950000	-506000	956000	1860000	2350000	3740000	4950000	6250000	7010000	8220000	7270000	6860000	7026000	5680000	6710000	6300000	7330000	7640000	4879280.00
425	E16	-5270000	-3790000	-2310000	-866000	596000	1500000	1990000	3380000	4590000	5890000	6650000	7860000	8260000	7850000	8016000	6670000	7700000	7290000	8320000	8630000	5057930.00
450	E17	-5630000	-4150000	-2670000	-1226000	236000	1140000	1630000	3020000	4230000	5530000	6290000	7500000	8440000	8840000	9006000	7660000	8690000	8280000	9310000	9620000	5155580.00
475	E18	-5990000	-4510000	-3030000	-1586000	-124000	780000	1270000	2660000	3870000	5170000	5930000	7140000	8080000	9290000	9996000	8650000	9680000	9270000	10300000	10610000	5145230.00
500	E19	-6350000	-4870000	-3390000	-1946000	-484000	420000	910000	2300000	3510000	4810000	5570000	6780000	7720000	8930000	10284000	9640000	10670000	10260000	11290000	11600000	5053880.00
525	E20	-6710000	-5230000	-3750000	-2306000	-844000	60000	550000	1940000	3150000	4450000	5210000	6420000	7360000	8570000	9924000	10630000	11660000	11250000	12280000	12590000	4962530.00
550	E21	-7070000	-5590000	-4110000	-2666000	-1204000	-300000	190000	1580000	2790000	4090000	4850000	6060000	7000000	8210000	9564000	10540000	12110000	12240000	13270000	13580000	4768580.00
575	E22	-7430000	-5950000	-4470000	-3026000	-1564000	-660000	-170000	1220000	2430000	3730000	4490000	5700000	6640000	7850000	9204000	10180000	11750000	12960000	14260000	14570000	4505780.00
600	E23	-7790000	-6310000	-4830000	-3386000	-1924000	-1020000	-530000	860000	2070000	3370000	4130000	5340000	6280000	7490000	8844000	9820000	11390000	12600000	14170000	15560000	4194380.00
	qj	0.005	0.01	0.02	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05	0.05	0.06	0.09	0.1	0.1	0.1	0.09	0.07	0.05	0.035	0.01	0.01	5155580

Рисунок 2 – Матриця рішень за критерієм BL

Для одержання найбільшого прибутку та звільнення мінімальної чисельності працівників, розрахуємо коефіцієнт довіри до критеріїв :

$$k = 1 + (\max e_i \min(\max e_i)_j / \max(\max e_i)_j \min(\max e_i)_j). \quad (15)$$

Це коефіцієнт довіри до кожного критерію, т.т ступінь віддаленості максимального елементу в і-му рядку від MaxMax рішення (тобто різниця між максимальним прибутком та максимальним прибутком, який можливий при і-му рішенні). MaxMax рішення по всій таблиці дорівнює 15560000.

ВИСНОВКИ

Досліджено розрахунки критеріїв оцінки управлінських рішень на судноремонтному підприємстві. Результати дають змогу оцінити можливі рішень при різних технологічних умовах, та різних станах суден, які потребують для ремонту. Розроблений програмний модуль дозволяє розширити діапазон рішень, що прогнозуються, та зробити оптимальний вибір серед багатьох отриманих.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Аверкин А.Н. Система поддержки принятия решений на основе нечетких моделей /А.Н. Аверкин, Т.В. Аграфонова, Н.В. Титова //Известия РАН. Теория и Системы Управления. – 2009. – №1 – С.99-104.
2. Вихров Н.М. Модели технологических процессов на транспорте /Н.М. Вихров, А.П. Ныркова. – СПб.: Судостроение, 2002. – 422 с.
3. Количественные методы в экономических исследованиях /Под ред. М.В. Грачевой и др. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 791 с.
4. Корнеев С.В. Системы поддержки принятия решений в бизнесе /С.В. Корнеев //Сети & Бизнес. – 2005. – №6. – С.45-48.

МЕТОД ПОШАГОВОЙ ВЕРИФИКАЦИИ РЕШЕНИЙ В СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

УДК 656.612

ШЕРСТЮК Владимир Григорьевич
к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий
Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: интеллектуальные системы принятия решений
реального времени, принятие решений на основе прецедентов, мультиагентные системы,
комбинированные логические системы представления знаний.
e-mail: v_sherstyuk@bigmir.net

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Управляемый оператором динамический объект (ДО) при взаимодействии с другими ДО на некотором ограниченном пространстве формирует открытую полиэргатическую сложную динамическую систему (СДС) [1]. В полиэргатических СДС знания операторов ДО о текущей ситуации, как правило, неполны и неточны, действия операторов взаимодействующих ДО непредсказуемы, а нормативные правила, регулирующие взаимодействие ДО, являются противоречивыми и недостаточно определенными. Кроме того, результаты применения запланированных управляющих воздействий (УВ) на исполнительные органы ДО не всегда приводят к требуемому результату вследствие стохастических воздействий внешней среды, а сами воздействия носят протяженный во времени и пространстве характер.

При наличии в СДС стесненных условий [2] и множественных ситуационных возмущений [3] складываются информационно сложные для оператора ситуации [4], обусловленные неполнотой и неточностью исходной информации, значительными объемами требуемых вычислений, а также серьезными ограничениями во времени, что существенно усложняет принятие оператором адекватных решений по управлению ДО в сложившейся ситуации, а в некоторых случаях приводит к инцидентам и авариям, которые принято классифицировать как «воздействие человеческого фактора» [5].

Снизить зависимость от «человеческого фактора» возможно путем автоматизации процесса принятия решений оператором ДО, используя методы искусственного интеллекта [6]. В [7] предложено с целью компенсации влияния «человеческого фактора» на процесс управления ДО в информационно-сложных ситуациях использовать интеллектуальную систему управления (ИСУ) ДО на основе сценарно-прецедентного подхода. Как показано в [8], ИСУ ДО должна: а) функционировать в реальном времени; б) автоматически генерировать уместные в сложившейся ситуации решения.

Сценарно-прецедентные ИС (СПИС) являются классом интеллектуальных систем автоматизированного вывода решений, основанным на принципах: а) повторяемости ситуаций; б) возможности использования ранее принятых решений в случае возникновения сходных проблемных ситуаций; в) представления решений в форме сценариев [9].

Решение, принятое ранее в контексте некоторой сходной (эталонной) ситуации, для использования в контексте вновь сложившейся ситуации необходимо вначале адаптировать к контексту сложившейся ситуации, а затем верифицировать. Процесс верификации сводится к оценке возможности решить проблему

сложившейся ситуации с помощью отобранного и адаптированного решения [10].

Как показывает практика [11], в реальных прецедентных и сценарно-прецедентных ИС на фазах адаптации и верификации либо используются интерактивные методы, предполагающие непосредственное участие оператора, в то время как оператор и без того перегружен; либо в условиях реального времени цикл принятия решений сокращается, адаптация и верификация не выполняются.

Следовательно, синтез сценарно-прецедентных ИСУ ДО требует разработки автоматических методов отбора, адаптации и верификации решений, не требующих участия человека-оператора (ЛПР).

Задачей данной работы является анализ сценарно-прецедентной модели принятия решений по управлению ДО и разработка в ее рамках метода автоматической пошаговой верификации решений на многоагентной модели совместной активности в ИСУ ДО, работоспособного при жестких временных ограничениях (в реальном времени).

Целью данной работы является дальнейшее развитие теории СПИС и решение задач синтеза ИСУ ДО реального времени на основе сценарно-прецедентного подхода.

Задача верификации принятого решения. Сценарно-прецедентная ИСУ ДО, получая описание сложившейся (проблемной) ситуации s_I, отыскивает с использованием заданной функции подобия множество сходных эталонных (хранимых в памяти СПИС) ситуаций $\{e_S\}$, $e_i = \langle s_i, r_i \rangle$, для которых $s_i \cong s_I$, и определяет наиболее уместный прецедент $e_O \in \{e_S\}$, решение которого $r_O \in e_O$ становится опорным решением. На основании опорного решения r_O в процессе адаптации решения формируется адаптированное решение r_A, привязанное к контексту проблемной ситуации. Особенность СПИС при работе в полиэргатических СДС состоит в том, что r_A представляет собой некоторый план Π_A, включающий множество последовательно или параллельно выполняемых сценариев $\Pi_A \supset \{\Sigma_j\}$ управляющих воздействий, прикладываемых к исполнительным органам ДО для достижения некоторой цели G.

Верификация адаптированного плана Π_A является проверкой возможности успешно решить возникшую проблемную ситуацию s_I с помощью r_A.

Верификация производится автоматически на модели СДС Ξ:

$$\left(r.e_A = \tilde{r}.e_I\right) \overset{\Xi}{\longmapsto} \left(r.e_R = \overline{r}.e_I\right). \qquad (1)$$

Задача верификации решения r_A предполагает получение ответа на вопрос:

- достигается ли поставленная цель G выполнением плана $\Pi_A \in r_A$;
- удовлетворяются ли в процессе выполнения Π_A ограничения $R \in \mathbf{R}$;
- является ли план Π_A оптимальным в смысле критерия $Q \in \mathbf{Q}$.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СЦЕНАРНО-ПРЕЦЕДЕНТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДО В ПОЛИЭРГАТИЧЕСКИХ СДС

Пусть задано время T. Введем шкалу времени, задав отношение частичного порядка $<_T$ и начальное значение времени t_0. Пусть также известно множество Y некоторой природы, и на этом множестве задана алгебра σ_Y.

Зададим пространство состояний C. Введем абстрактную норму и зададим соответствующую ей метрику. Для решения задачи управления ДО достаточным является линейное нормированное равномерное (Чебышевское) пространство C с нормой [12]:

$$\|y\|_c = \min_{t \in [0,T)} \left(y(t)\right), \qquad (2)$$

Рассмотрим множество сложных эргатических ДО $\mathbf{A} = \{A_0, A_1, \ldots A_n\}$, таких что:

- каждый из ДО A_i выполняет некоторую активность на пространстве C, связанную с достижением заданной цели $G_i \in C$;
- в процессе совместной активности некоторое подмножество ДО $\mathbf{A}^{\Xi} = \{A_0, A_1, \ldots A_m\}$ взаимодействует, образуя полиэргатическую СДС Ξ;
- состав СДС Ξ динамически изменяется;
- существует оперирующий ДО A_0, с позиций кото-

рого рассматривается задача управления. Известно, что $\forall t \in T \;\; A_0 \in \mathbf{A}^{\Xi}$;

- цель G_i ДО A_i в общем случае неизвестна ни одному из $A_j, j \neq i$;
- всякая цель G_i имеет количественное и/или качественное описание (в пространстве C);
- активность ДО A_i является выполнением заданной ЛПР программы (плана) Π_i, представляющей собой некоторую последовательность операций управления $[\lambda_1, ...\lambda_k]$, приближающих ДО A_i к цели G_i.

Определение 1 *Управлением* в СДС Ξ называется функция эргатической ИСУ ДО $A_0 \in \mathbf{A}^{\Xi}$, обеспечивающая реализацию заданных целей G_0 с помощью планов Π_0 [13].

Пусть для достижения некоторой цели G необходимо выполнить в пространстве C множество поисковых операций (итераций или рекурсий) $\{\lambda_1, ...\lambda_k\}$, что обусловлено структурной и параметрической нестационарностью, неполнотой и неточностью исходных данных, ограниченной наблюдаемостью состояний СДС Ξ и т.д.

Пусть всякая *итеративная операция* осуществляет приближение к цели G одним из заданных методов $\mathrm{M}_q \in \mathbf{M}$, а всякая *рекурсивная операция* последовательно отбирает лучший в некотором смысле метод $\mathrm{M}^* \in \mathbf{M}_G$ из подмножества $\mathbf{M}_G \in \mathbf{M}$ подходящих методов для достижения G [14].

Степень достижения цели G будем характеризовать *вектором критериев* $\mathbf{Q}$, где каждый *критерий* $Q_i \in \mathbf{Q}$ представляет собой шкалу для оценки *близости* к цели. Для каждого $Q_i \in \mathbf{Q}$ построим процедуру γ_i, позволяющую всякому решению $y \in Y$ поставить в соответствие значение целевой функции Q_i:

$$\|y\|_c = \gamma_i(y), \qquad (3)$$

Пусть на каждом шаге $j = 1..k$ выполнения последовательности операций управления $[\lambda_1, ...\lambda_k]$ ДО A_i переходит из состояния $x_j \in C$ в состояние $x_{j+1} \in C$. Введем показатель расстояния δ до цели G в некотором состоянии $x \in C$:

$$\delta = \|x - G\|. \qquad (4)$$

Пусть на каждом шаге процедуры поиска решения проблемы существует подмножество $\mathbf{M}_G \in \mathbf{M}$ подходящих методов. Тогда на шаге j при $z = |M_q|$ для каждого из методов $\mathrm{M}_q \in \mathbf{M}$, можно оценить расстояние δ_q^{j+1}, что дает возможность выбрать «наилучший» для данного шага метод:

$$q^* = \arg \min(\delta_1, \delta_2, ...\delta_z), \qquad (5)$$

т.е. тот метод M_{q^*}, который ближе всего приводит к цели G.

Введем вектор ограничений $\mathbf{R}$, включающий ограничения $R_i \in \mathbf{R}$, составляющие обратные связи по управлению через внешнюю среду W. Для каждого ограничения $R_j \in \mathbf{R}$ построим процедуру ζ_j, позволяющую некоторому состоянию $x \in C$ поставить в соответствие значение R_j:

$$\|y\|_c = \zeta_j(x), \qquad (6)$$

Определение 2 Задача удовлетворения ограничений (ЗУО) $\mathbb{R}$ есть $\mathbb{R} = (x, y, \mathbf{R})$.

Определение 3 Задача удовлетворения ограничений $\mathbb{R}$ называется *согласованной*, если все имеющиеся ограничения $R_j \in \mathbf{R}$ не противоречат друг другу.

Определение 4 Задача удовлетворения ограничений называется *выполненной* для $y \in \mathbb{R}$, если:

а) ЗУО является согласованной;

б) $\forall x \in \mathbb{R} \;\; \zeta_j(x) \notin \mathbf{R}$.

Определение 5 *Обобщенная проблема управления* ДО $\mathbb{F}$ в полиэргатической СДС Ξ, связанная с достижением цели G, есть процедура:

$$\Omega_{G|\mathbb{R}} x \to y \;, \qquad (7)$$

где $x \in C$ – исходное множество данных и знаний;

$y \in Y$ – решение;

$\Omega_{G|\mathbb{R}}$ – процедура (план, программа, алгоритм) получения решения $y \in Y$, позволяющего достичь цели G или максимально приблизиться к ней при выполнении заданного вектора ограничений $\mathbf{R}$.

Для *описания проблемы* $\mathbb{F}$ необходимо задать:

а) цель управления G;

б) вектор критериев $\mathbf{Q}$ и вектор ограничений $\mathbf{R}$;

в) библиотеку методов $\mathbf{M}$;

г) метрику с нормой $\|y\|$ при известном начальном состоянии $x_0 \in C$.

Методы могут быть формализованными, интеллектуальными и эвристическими [15].

Решение проблемы управления ДО в полиэргатических СДС формализованными (регулярными) методами невозможно как по причине отсутствия адекватных математических моделей и присутствия стохастических воздействий внешней среды, так и по причине отсутствия строгих методов решения проблем управления на основе вектора критериев и ограничений $\mathbf{Q} \cup \mathbf{R}$.

Для интеллектуальных методов (систем правил и моделей) наблюдается экспоненциальный рост пространства возможных состояний $x \in C$ в процессе поиска решения $y \in Y$, что недопустимо в условиях реального времени. Таким образом, целесообразно использовать эвристические методы, инвариантные к неопределенности в постановке проблемы $\mathbb{F}$.

Для *решения проблемы* $\mathbb{F}$ необходимо:

а) синтезировать процедуру Ω, для чего могут быть использованы методы $M \in \mathbf{M}$;

б) выполнить ЗУО $\mathbb{R}$ для $(x, y) \in \mathbb{F}$.

Для обеспечения конечности процесса поиска решения проблемы $\mathbb{F}$ процедурой Ω требуется установить критерий остановки процедуры.

Определение 6 *Близкой* ε*-окрестностью* G называется малое положительное число ε, определяющее на пространстве C вокруг точки G окружность радиуса ε.

Определение 7 *Критерием достижения цели* G на шаге l, останавливающим процедуру Ω, является ее близкая ε-окрестность:

$$\delta = \|x_l - G\| \le \varepsilon . \qquad (8)$$

Определение 8 *Критерий приближения к цели* есть производная расстояния $\dot{\delta}$: если $\dot{\delta} < 0$, движемся к цели, если $\dot{\delta} > 0$ – движемся от цели, если $\dot{\delta} = 0$ – движемся вокруг цели.

Определение 9 Проблема $\mathbb{F}$ является *разрешимой*, если существует процедура $\Omega_{G|\mathbb{R}}$, которая с помощью методов из множества $\mathbf{M}$ за конечное число шагов k приводит к близкой ε-окрестности G. В противном случае проблема $\mathbb{F}$ *неразрешима*.

Неразрешимость $\mathbb{F}$ означает недостижимость G на основании имеющейся у процедуры $\Omega_{G|\mathbb{R}}$ информации. Если на каком-либо шаге процедура $\Omega_{G|\mathbb{R}}$ не приводит к нахождению решения y, может быть выполнена подстановка квазирешения $\tilde{y}$, наиболее близко ведущего к G (*регуляризация* $\Omega_{G|\mathbb{R}}$), смена метрики, варьирование параметрами процедуры $\Omega_{G|\mathbb{R}}$, смена выполняемого метода $M \in \mathbf{M}$ и т.д.

Определение 10 Процедура $\Omega_{G|\mathbb{R}}$ *корректна* (по Адамару), если для любого состояния $x \in C$ она гарантированно находит устойчивое и единственное решение $y \in Y$.

Особенности полиэргатических СДС приводят к тому, что корректную процедуру $\Omega_{G|\mathbb{R}}$ синтезировать формальными методами невозможно, а для решения проблемы $\mathbb{F}$ требуется использовать эвристические процедуры $\Omega'_{G|\mathbb{R}}$, для которых существование решения, а тем более его единственность, недоказуемы. Для обеспечения эффективного управления ДО необходимо обладать достаточно полными (*компетентными*) библиотеками метрик, функций, методов и эвристик [15].

СПИС использует для поиска процедуры $\Omega'_{G|\mathbb{R}}$, решающей $\mathbb{F}$, эвристику «в сходных ситуациях используют сходные решения». Модели и методы сценарно-прецедентного принятия решений в динамических предметных областях представлены в [16]. Процесс верификации решений в СПИС предполагает в первую очередь решение задачи удовлетворения ограничений и оптимизационной задачи.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

Одной из наиболее серьезных проблем сценарно-прецедентного подхода к принятию решений в проблемных ситуациях является проблема формирования параметров исполнительных органов для управляющих воздействий в принятом к исполнению сценарии Σ_0, проиллюстрированная на рис. 1.

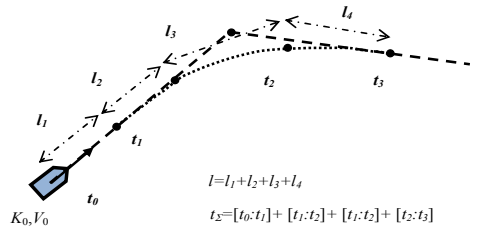


Рисунок 1 – Схема выполнения маневра поворота ДО вправо

Параметры исполнительных органов и моменты приложения управляющих воздействий необходимо соотносить с текущими значениями параметров ДО и внешней среды (рис. 2), обеспечивая согласование с системой ограничений $\mathbf{R}$, задающей пределы изменения параметров при возмущениях различной интенсивности и направленности, а также при различных значениях технических параметров самого ДО.

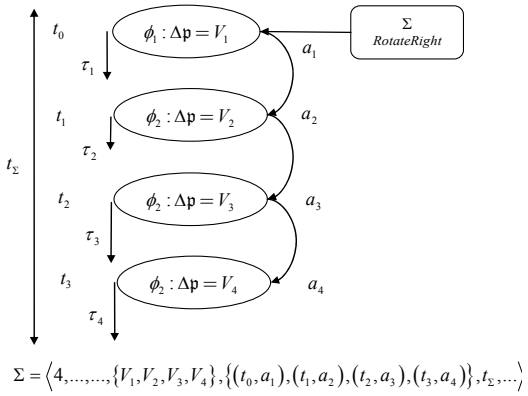


Рисунок 2 – Сценарий реализации маневра поворота ДО вправо

Например, выполнение элементарного маневра поворота морского ДО (рис. 1) само по себе несложно, и допускает широкий диапазон значений угла перекладки руля. Однако, при сильном волновом воздействии диапазон возможных значений параметра сокращается. Наличие сильного ветрового воздействия дополнительно сокращает пределы выбора значений, а при некотором критическом превышении значений крена или дифферента ДО выполнение маневра может быть запрещено.

На рис. 3 представлены ограничения, накладываемые на выполнение сценария маневра поворота ДО вправо (рис. 1).

$$t_\Sigma = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

$$V_{14} = f\left(V_{16}, V_{17}\right) \qquad V_{24} = f\left(V_{22}, V_{23}\right)$$

$$V_{15} = f\left(V_{18}, V_{19}\right) \qquad V_{31} = f\left(V_{18}, V_{19}, V_{23}\right)$$

$$V_2 = f\left(V_{14}, V_{15}, V_{24}, V_{31}\right)$$

...

Рисунок 3 – Ограничения на выполнение сценария выполнения маневра поворота ДО вправо

Решение проблемы формирования параметров сценариев лежит в использовании для верификации решений методов удовлетворения ограничений (*Constraint Satisfaction Problem*, CSP), которые, однако, относятся к классу *NP*-трудных и могут требовать перебора экспоненциального числа решений [17].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

Пусть задан универсум X.

Введем, основываясь на [18], правдоподобное расширение универсума X.

Определение 11 *Правдоподобным расширением* универсума X называется любая конечная система ${}^*X$ его подмножеств, содержащая $\varnothing$, X и замкнутая относительно пересечения множеств.

Элементы множества ${}^*X$ назовем *правдоподобными значениями*, а элементы ${}^*X^n$ *– векторами правдоподобных значений*.

Рассмотрим множество всех вещественных чисел ${}^*\mathbb{R}$. Элемент $x \in {}^*\mathbb{R}$ в рамках принятой в СПИС модели правдоподобия ℓ может представлять собой:

– интервал $\left[\min(x), \max(x)\right]$ (недоопределенное значение);

– α-срез $\left(\mu(x), \alpha\right)$ (нечеткое значение);

– область $[\underline{x}, \overline{x}]$ (приближенное значение);

– четкое значение x;

– вектор соответствующих значений $\boldsymbol{x} = \left(x_1, \ldots x_n\right)$.

Определение 12 Для данного множества переменных $V = \{x_1, x_2, \ldots x_m\}$ и их областей значений $D_1, \ldots, D_m$ *отношением* $\flat$ на множестве переменных

$V \in X$ называется любое подмножество декартова произведения их областей значений.

Определение 13 Множество переменных, на котором определено отношение $\mathfrak{p}$, называется *диапазоном отношения* $\mathrm{scope}(\mathfrak{p}) = V$.

Определение 14 *Областью определения* (доменом) $dom(x_j)$ переменной x_j в ${}^*X$ называется вектор $\boldsymbol{x} = (x_{j_1}, \ldots x_{j_n}) \in {}^*\mathbb{R}$.

Определение 15 *Ограничением* $R \in \mathbf{R}$ называется пара $R = (\mathfrak{p}, \pi_R)$, где $\mathfrak{p} \subseteq {}^*X^m$ – произвольное m-арное отношение на ${}^*X$, а $\pi_R : {}^*X^n \to {}^*X^m$ – функция, проецирующая вектор $\boldsymbol{x} = (x_1, \ldots x_n) \in {}^*\mathbb{R}$ на некоторые его m компонент, так что $\pi_R(\boldsymbol{x}) = (x_{i_1}, \ldots x_{i_m})$ для некоторых $i_1, \ldots i_m \in \{1, \ldots, n\}$.

Определение 16 *Задача удовлетворения ограничений* (ЗУО) $\mathbb{R}$ на множестве переменных $V = \{x_1, x_2, \ldots x_m\}$, для каждой из которых задана область определения $dom(x_j)$, определяется конечным набором ограничений $\mathbf{R} = \cup_{m=1}^{M} R_m$ как $\mathbb{R} = (V, X, \mathbf{R}, \mathfrak{p})$.

Обозначим как $\arg R$ множество индексов $\{i_1, \ldots i_m\}$, на которые функция π_R выполняет проецирование. Если переменные задачи обозначить $\{x_1, x_2, \ldots x_n\}$, ограничение $R = (\mathfrak{p}, \pi_R) \in \mathbf{R}$ можно записать как $\mathfrak{p}(\boldsymbol{x}_{i_1}, \ldots, \boldsymbol{x}_{i_m})$.

Пусть $\pi_R(x_1, x_2, \ldots x_n) = (x_{i_1}, \ldots, x_{i_m})$, а $\mathfrak{p}(\boldsymbol{x}_{i_1}, \ldots, \boldsymbol{x}_{i_m}) = (\boldsymbol{y}_1, \ldots \boldsymbol{y}_m)$. Тогда

$$\mathfrak{p}(\boldsymbol{x}_1, \ldots, \boldsymbol{x}_n) = (\boldsymbol{z}_1, \ldots \boldsymbol{z}_m), \quad (9)$$

где

$$\boldsymbol{z}_i = \begin{cases} \cap_{j:i_j=i} \boldsymbol{y}_j \,|\, i \in \arg R \\ \boldsymbol{x}_j \,|\, i \notin \arg R \end{cases}. \quad (10)$$

Определение 17 *Множество решений* $\mathfrak{V}(\mathbb{R})$ задачи удовлетворения ограничений на ${}^*X$ определяется как

$$\mathfrak{V}(\mathbb{R}) = \left\{ \boldsymbol{x} \in {}^*X^n \,\middle|\, (\forall R \in \mathbf{R})\ \pi_R(\boldsymbol{x}) \in \mathfrak{p} \right\}. \quad (11)$$

Пример фрагмента дерева зависимости переменных в сценарии выполнения маневра поворота ДО вправо представлен на рис. 4.

Целью решения ЗУО может являться нахождение одного или нескольких (всех) решений [19].

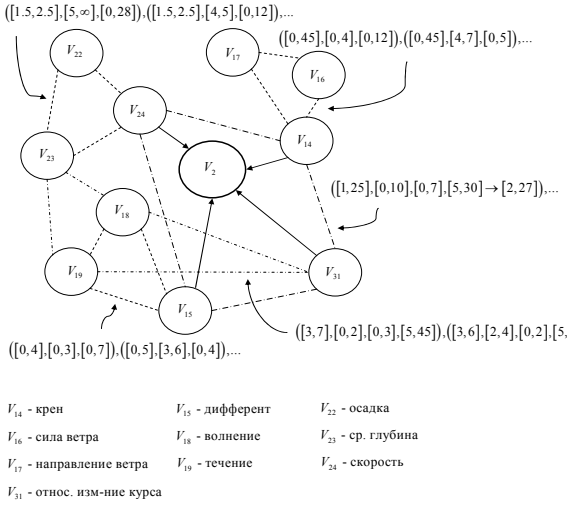


Рисунок 4 – Фрагмент дерева зависимости переменных

ДИНАМИЧЕСКОЕ УДОВЛЕТВОРЕНИЕ ОГРАНИЧЕНИЙ

Поскольку в процессе выполнения сценария Σ_0 параметры внешней среды и параметры ДО, для которых уже получено некоторое решение ЗУО, могут изменяться, соответственно и вектор $\mathbf{R}$ претерпевает изменения, всякий раз требуя заново решать ЗУО. Решение ЗУО при значительной динамике внешней среды составляет задачу динамического удовлетворения ограничений (ЗДУО, *Dynamic CSP*) [20], при этом ЗДУО рассматривалась как последовательность ЗУО, каждая из которых является следствием введения новых ограничений или отказа от существующих.

Определение 18 *Задача динамического удовлетворения ограничений* $\mathbb{R}^*$ есть последовательность ЗУО $\mathbb{R}^* = \left[\mathbb{R}_{(0)}, \ldots \mathbb{R}_{(i)}, \ldots \mathbb{R}_{(n)}, \ldots \right)$ в моменты времени $t_0, \ldots t_i, \ldots t_n, \ldots$, каждая из которых связана с изменением предыдущей ЗУО в результате воздействий внешней среды.

Определение 19 Ограничение R, такое, что $R \in \mathbf{R}_{(t)}$, называется *активным* в момент времени t ограничением.

Множество активных ограничений в последующие моменты времени может изменяться в результате известных из [21] операций *установления* и *снятия*

ограничений, при этом предполагается $\mathbb{R}_{(0)} = (V, X, \varnothing, \mathfrak{b})$. В случае, если ограничения заданы на модели правдоподобия ℓ, возможны также операции *смягчения* (расширения интервала значений) и *ужесточения* (сокращения интервала) ограничений.

Т.о., если $\mathbb{R}_{(i)} = \left(V, X, \mathbf{R}_{(i)}, \mathfrak{b}\right)$, то $\mathbb{R}_{(i+1)} = \left(V, X, \mathbf{R}_{(i+1)}, \mathfrak{b}\right)$, причем

$$\mathbf{R}_{(i+1)} = \left(\mathbf{R}_{(i)} \circ \mathrm{R}_{\ell}\right) \pm \mathrm{R}_{\Delta}, \qquad (12)$$

где R_{Δ} – изменения вектора $\mathbf{R}$, связанные с установлением (+) и снятием (-) ограничений;

R_{ℓ} – изменения вектора $\mathbf{R}$, связанные со смягчением или ужесточением активных ограничений.

ПОСТАНОВКА ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Решение ЗУО для t является множеством векторов $\left\{\boldsymbol{x}_t^j \in {}^*X^n\right\}$, каждый из которых в момент t удовлетворяет вектору заданных ограничений $\mathbf{R}_{(t)}$.

Задав на ${}^*X$ линейный порядок $\leq_{{}^*X}$, можно определить на $\left\{\boldsymbol{x}_t^j \in {}^*X^n\right\}$ *оптимизационную задачу* (ОЗ) $\mathbb{Q}$ для $Q \in \mathbf{Q}$, имеющую следующие особенности:

- пространство поиска оптимального решения ограничено множеством решений ЗУО $\mathfrak{V}(\mathbb{R})$;
- поиск решения ОЗ производится не по целевой функции, а по целевой переменной x_Q, соответствующей выбранному целевому критерию $Q^{\circ} \in \mathbf{Q}$;
- поскольку ЗУО решается как динамическая, ОЗ также должна решаться динамически, т.к. всякое изменение множества решений $\mathfrak{V}(\mathbb{R})$ требует повторного решения ОЗ;
- точность решения ОЗ (также и ЗУО) существенно зависит от точности исходной информации.

Определение 20 Решение $\hat{\boldsymbol{x}}_{(t)} = \left(\hat{x}_{1(t)}, \ldots \hat{x}_{n(t)}\right) \in {}^*\mathbb{R}$ называется *субоптимальным* (на момент t), если для любого $\boldsymbol{x}_{i(t)} = \left(x_{1_i}, \ldots x_{n_i}\right) \in \mathfrak{V}_t(\mathbb{R})$ выполняется $\hat{x}_{Q(t)} \leq x_{Q_i(t)}$ ($\hat{x}_{Q(t)} = \arg\ \min\left(x_{Q_1(t)}, x_{Q_2(t)}, \ldots x_{Q_i(t)}\right)$).

Определение 21 Решение $\hat{\boldsymbol{x}} = \left(\hat{x}_1, \ldots \hat{x}_n\right) \in {}^*\mathbb{R}$ называется *оптимальным* для сценария Σ по критерию $Q \in \mathbf{Q}$, если и только если на всем временном интервале выполнения сценария $[t_0, t_{\Sigma}]$ для любого $\boldsymbol{x}_i = \left(x_{1_i}, \ldots x_{n_i}\right) \in \mathfrak{V}(\mathbb{R})$ выполняется $\hat{x}_Q \leq x_{Q_i}$ ($\hat{x}_Q = \arg\ \min\left(x_{Q_1}, x_{Q_2}, \ldots x_{Q_i}\right)$).

Для решения ОЗ необходимо:

а) осуществить выбор целевого критерия $Q^{\circ} \in \mathbf{Q}$;

б) установить для данного целевого критерия связанную целевую переменную x_Q;

в) решить ЗУО и получить множество ее решений $\mathfrak{V}(\mathbb{R})$;

г) найти такое решение ЗУО, которое удовлетворяло бы опред. 20.

ЗДУО может быть решена с использованием алгоритма установления локальной совместности сети ограничений [22] при условии его обобщения на правдоподобные расширения ${}^*\mathbb{R}$ и инкрементного формирования множества ограничений $\mathbf{R}_{(t)}$. Данный алгоритм имеет полиномиальную оценку вычислительной сложности и является последовательно гарантирующим (на любом шаге $\boldsymbol{x}^{(k)} \subseteq \mathfrak{V}(\mathbb{R})$).

Для решения ОЗ может быть использован метод ветвей и границ [18]. Данный алгоритм не является полным и имеет экспоненциальную оценку сложности по числу переменных n, однако, для использования в ИСУ ДО существенно, что он также является последовательно гарантирующим, т.е. в любой момент может быть прерван (из-за недостатка времени на продолжение), при этом будет существовать решение, соответствующее верхней оценке целевой переменной.

Для повышения эффективности алгоритмов решения ЗДУО и ОЗ может быть использована следующая эвристика: множество переменных $V = \left\{x_1, x_2, \ldots x_m\right\}$ ранжируется по числу вхождений в максимальное число ограничений и по относительной ширине интервала ($(\overline{x} - \underline{x})/(\overline{x} + \underline{x})$), при этом вначале обрабатываются переменные, наиболее ограничивающие решение в количественном смысле (по числу вхождений в ограничения), а затем – в качественном смысле (сужающие решение интервалом значений).

Дальнейший ход процесса верификации решений связан с моделью совместной активности ДО.

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ СДС

Используем для построения модели совместной активности множества ДО *парадигму многоагентного моделирования* [23]. Многоагентная модель представляет СДС в виде множества отдельно специфицируемых активных подсистем, называемых агентами. Каждый из агентов взаимодействует с другими агентами, образующими для него внешнюю среду, и в процессе функционирования может изменять как внешнюю среду, так и свое поведение.

Множество агентов образует многоагентную систему (МАС), являющуюся моделью СДС [24].

Построение многоагентной модели полиэргатической СДС Ξ, образованной совместной активностью множества ДО $\mathbf{A}$ на ограниченном пространстве H под воздействием внешней среды W, будем производить в соответствии с подходом, представленным в [25, 26]. Модель СДС Ξ основывается на *принципе замещения* каждого из ДО множества $\mathbf{A}$ его моделью – интеллектуальным агентом (ИА), действующим *автономно* и *асинхронно* относительно остальных ИА.

Модель совместной активности (МСА) M_{JM} включает множество моделей наблюдаемых ДО M_i, модель пространства M_H и модель нормативного регулятора активности (НРА) M_N на пространстве H (рис. 5):

$$M_{JM} = \left\{ M_H, M_N, \bigcup_{i=1}^{n} M_i \right\}. \qquad (13)$$

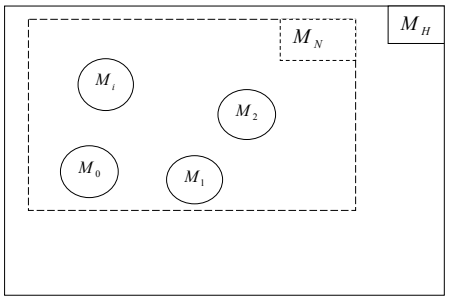


Рисунок 5 – Структура модели СДС

Модель НРА M_N отражает заданные для рассматриваемого класса ДО и заданного пространства H предписанные правила выполнения действий ЛПР в стандартных ситуациях и может быть логической моделью. Модель контролируемого пространства M_H также может быть логической моделью.

Выделим *оперирующий* ДО $A_0 \in \mathbf{A}$, с позиций которого рассматриваются процессы, проистекающие в СДС Ξ, и окружающие ДО $A_i \in \mathbf{A},\ i = \overline{1..n}$.

Согласно *принципу распределенного управления*, каждый ДО A_i, отрабатывая собственную стратегию действий по плану Π_i, изменяет состояние СДС Ξ, выполняя те или иные УВ. Совместный поиск каждым ДО A_i из множества $\mathbf{A}$, находящимся на контролируемом пространстве, способов и путей достижения своих целей G_i, приводит к их *взаимодействию*.

Т.о., МСА является моделью взаимодействия, а замещающей моделью ДО может служить ИА.

Динамическая модель *i*-го ДО является моделью *планирующего* логико-когнитивного ИА [27], и может быть представлена следующим образом (рис. 6):

$$M_i(t) = \left\langle \begin{matrix} \nu_j, CLS_i, EM_i(t,\nu_j), NM_i(t,\theta_j), MM_i^z(t,CLS_i), \\ G_i(t), \Pi_i(t), IS_i(t), SOL_i(t), CTL_i \end{matrix} \right\rangle', \qquad (14)$$

где $EM_i(t,h_j)$ – модель окружения (подпространства $h_j \in H$) ДО A_i в момент времени t;

$NM_i(t,h_j)$ – модель НРА на подпространстве $h_j \in H$ для ДО A_i в момент времени t;

$MM_i^z(t,CLS_i)$ – модель активности ДО A_i класса CLS_i с уровнем точности z на момент t;

$G_i(t)$ – цель активности ДО A_i на момент времени t;

$\Pi_i(t)$ – план активности, выполняемый ДО A_i в момент времени t;

$IS_i(t)$ – информационная структура ИА в момент времени t;

$SOL_i(t)$ – решатель ИА, используемый в момент времени t;

CTL_i – управляющий модуль ИА;

CLS_i – присвоенный ДО A_i *класс* согласно предопределенной классификации K [28].

Информационная структура ИА состоит из следующих элементов:

$$IS_i = \left\langle DB_i, KB_i, \left\langle MM_i^z \right\rangle, \mathbf{G}_i, \mathbf{\Pi}_i, \mathfrak{U}_i \right\rangle, \qquad (15)$$

где $\left\langle MM_i^z \right\rangle$ – библиотека моделей активности ДО A_i с различными уровнями точности z;

$\mathbf{G}_i$ – библиотека целей ДО A_i;

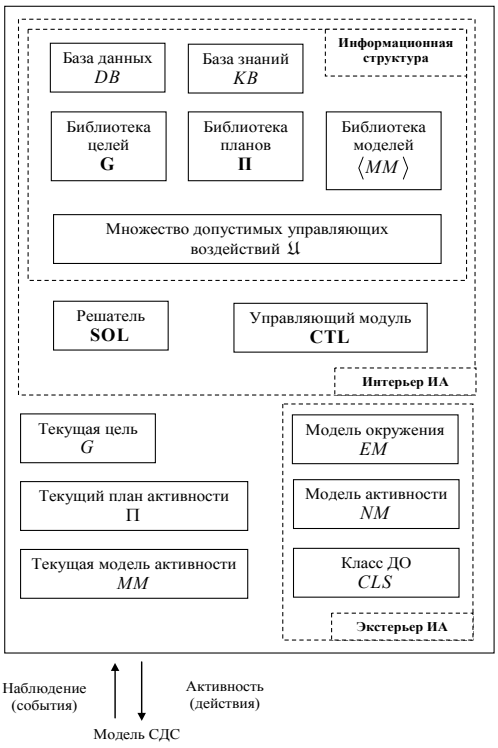


Рисунок 6 – Структура модели СДС

$\mathbf{\Pi}_i$ – библиотека планов и сценариев для ДО A_i;

$\mathfrak{U}_i$ – множество допустимых управляющих воздействий для ДО A_i;

KB_i – база знаний ИА, доступная для использования текущим решателем SOL_i;

DB_i – база данных ИА.

Структура МАС для построения МСА ДО может быть представлена следующим образом:

$$MAS = \left\langle \Phi, K, \mathfrak{d}, \left\langle NM \right\rangle, \mathbf{Q}, \mathbf{R} \right\rangle, \quad (16)$$

где Φ – структура МАС, $\Phi_l = \{A_1, A_2, ..., A_m\}$;

K – система классификации, заданная в СДС Ξ;

$\mathfrak{d}$ – функция диагностирования состояния СДС Ξ;

$\left\langle NM \right\rangle$ – библиотека моделей НРА в СДС Ξ;

$\mathbf{Q}$ – система критериев управления ДО в СДС Ξ;

$\mathbf{R}$ – система ограничений на процесс управления ДО в СДС Ξ.

МЕТОД ПОШАГОВОЙ ВЕРИФИКАЦИИ РЕШЕНИЙ

Будем основываться на том, что:

1) для каждого из ДО построена модель в виде ИА A_i;

2) существует модель совместной активности ДО в виде МАС;

3) задана классификация K ДО в СДС Ξ;

4) для каждого ограничения $R_k \in \mathbf{R}$ задана процедура ζ_k:

$$\zeta_k : X_i^{t_j} \to \mathbb{R}, \quad (17)$$

позволяющая выполнить проверку ограничения:

$$\zeta_k \left(X_i^{t_j} \right) < R_k. \quad (18)$$

5) для каждого критерия $Q_l \in \mathbf{Q}$ построена процедура γ_l, позволяющая определить значение целевой функции Q_l:

$$\gamma_l : \left\| X_i^{t_j} \right\|_C \to \mathbb{R}. \quad (19)$$

6) задана цель G_0 ДО A_0;

7) задан критерий достижения цели $\delta = \left\| x_l - G \right\| \le \varepsilon$;

8) построен план Π_0 достижения цели G_0;

9) распознаны планы Π_i для всех взаимодействующих ДО A_i, $i \neq 0$.

10) Сопоставим каждому из ИА A_i (т.е. моделям взаимодействующих ДО) соответствующую информационную структуру (рис. 7):

$$\begin{gathered} \left\langle LCM \right\rangle \to LCM_i;\ \left\langle MM_i^z \right\rangle \to MM_i^z; \\ \mathbf{G} \to G_i^*;\ G \to G_0;\ \mathbf{\Pi} \to \Pi_i^*; \\ \Pi_A \to \Pi_0; \\ \overline{X}_{A_i} \to X_{A_i};\ \mathfrak{U} \to \mathfrak{U}_i. \end{gathered} \quad (20)$$

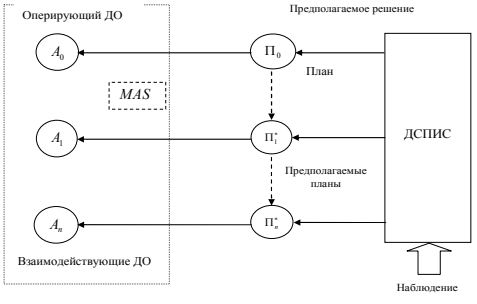


Рисунок 7 – Инициализация модели СДС

Выполнение операции сопоставления инициализирует МАС.

Используя заданные системы критериев $\mathbf{Q}$ и ограничений $\mathbf{R}$, на основе выбранной модели НРА NM и классификации K зададим структуру МАС Φ.

Построим шкалу ускоренного модельного времени $T_{\triangleright} = \langle [t, \infty), >_T \rangle$.

Зададим шаг модельного времени Δt, тогда на заданной шкале $t_{j+1} = t_j + \Delta t$.

Продвигая модельное время вдоль $T_{\triangleright}$, будем выполнять $\forall A_i \; do(\Pi_i \mid t_j)$. Соответственно, для каждого момента времени t_j

$$\mathfrak{d}(t_j) = \mathcal{C}_{\Xi}^{t_j}. \qquad (21)$$

Основываясь на предполагаемом состоянии $\mathcal{C}_{\Xi}^{t_j}$ СДС Ξ в момент времени t_j, и зная Π_i, можно для каждого A_i определить его предполагаемое состояние $\hat{\mathcal{C}}_i^{t_j}$, а значит, получить предполагаемые оценки его параметров $\hat{X}_{A_i}$ на момент t_j.

Пошагово двигаясь от момента t приращением модельного времени Δt, и получая оценку параметров каждого ДО A_i в каждой очередной момент модельного времени, можно построить предполагаемую фазовую траекторию системы $\mathbf{\Phi}_{\Xi}^{*}$ в пространстве H (рис. 8).

Для оперирующего ДО A_0 на каждом шаге модельного времени решаются ЗДУО $\mathbb{R}^*$ и ОЗ $\mathbb{Q}$, выполняется вычисление функций:

$$\begin{aligned} \hat{R}_k(t_j) &= \zeta_k\left(\hat{X}_i^{t_j}\right), \\ \hat{Q}_l(t_j) &= \gamma_l\left(\hat{X}_i^{t_j}\right). \end{aligned} \qquad (22)$$

Определение 22 Решение r_A называется *допустимым*, если и только если существует такой момент модельного времени $t_e = t + n \cdot \Delta t$, что $\delta(t_e) < \varepsilon$.

Определение 23 Решение r_A называется *вполне допустимым*, если r_A является допустимым и $\forall t_j \mid t \le t_j \le t_e$ выполняется $\forall k \;\; \hat{R}_k(t_j) < R_k$.

Определение 24 Решение r_A называется *оптимальным* в смысле критерия $Q_l \in \mathbf{Q}$, если r_A является вполне допустимым и $\exists \gamma \mid \hat{Q}_l = \arg \max\left(\gamma_l^*(t), \ldots \gamma_l^*(t_e)\right)$.

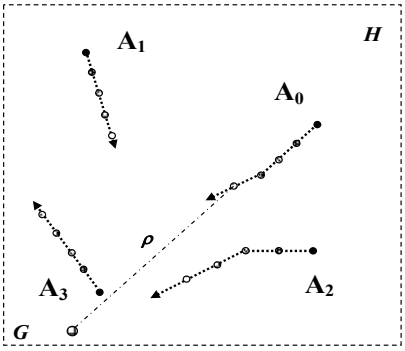


Рисунок 8 – Построение фазовой траектории системы $\mathbf{\Phi}_{\Xi}^{*}$

Определение 25 Решение r_A называется *субоптимальным* в смысле критерия $Q_l \in \mathbf{Q}$, если r_A является вполне допустимым, $\exists t_j, t_m \mid t \le t_j \le t_m \le t_e$, такие что $\exists \gamma \mid \hat{Q}_l = \arg \max\left(\gamma_l^*(t_j), \ldots \gamma_l^*(t_m)\right)$.

Пусть $\mathcal{V} = \{\mathcal{V}_0, \mathcal{V}_1, \mathcal{V}_2, \mathcal{V}_3, \mathcal{V}_4\}$, $\mathcal{V}_1 \sqsubseteq \mathcal{V}_2 \sqsubseteq \mathcal{V}_3 \sqsubseteq \mathcal{V}_4$, причем

$\mathcal{V}_0 = недопустимый$; $\mathcal{V}_1 = допустимый$;
$\mathcal{V}_2 = вполне\ допустимый$;
$\mathcal{V}_3 = субоптимальный$; $\mathcal{V}_4 = оптимальный$.

Тогда процедура верификации $\vartheta : r_A \to \mathcal{V}$, соответствующая вышеописанному методу пошаговой верификации, возвращает для каждого адаптированного решения r_A его оценку $\mathcal{V}(r_A)$.

Определение 26 Для всех r_A, таких что $\mathcal{V}(r_A) > \mathcal{V}_1$, план $\Pi_A \in r_A$ является *разрешающей процедурой* $\Omega_{G|\mathbb{R}}$.

Поскольку для решения проблемы управления ДО $\mathbb{F}$ необходимо синтезировать процедуру $\Omega_{G|\mathbb{R}}$, *вполне допустимое решение* r_A и *является решением задачи управления* ДО.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Метод пошаговой верификации решений на основе многоагентной модели совместной активности ДО позволяет определить возможность достижения заданного целевого состояния путем выполнения плана, содержащегося в решении прецедента, в условиях взаимодействия ДО на ограниченном пространстве при наличии множественных ситуационных возмущений, а

также нормативного регулятора активности, построенного на основе логической модели.

Присвоение численных значений переменным сценариев и параметрам управляющих воздействий целесообразно производить на фазе верификации, пошагово решая задачу динамического удовлетворения ограничений, обеспечивая согласование с заданной системой ограничений и одновременно решая задачу оптимизации для заданного вектора критериев оптимальности. Это позволяет соотносить параметры исполнительных органов и моменты приложения управляющих воздействий с текущими значениями параметров ДО и внешней среды, обеспечивая согласование пределов изменения параметров при возмущениях различной интенсивности и направленности.

Решением проблемы управления ДО является синтезированная в процессе поиска уместных решений, согласованная на множестве ограничений и удовлетворяющая критериям оптимальности процедура, являющаяся решением адаптированного прецедента, верифицированного на модели совместной активности с оценкой не ниже чем «вполне допустимо».

ЛИТЕРАТУРА

1. Шерстюк, В. Логико-вероятностный подход к оцениванию состояния динамической системы /В.Г. Шерстюк //Вестник Херсонского национального технич. университета. – 2010. – №3 (39). – С.514-520.
2. Шерстюк, В. Информационная технология поддержки принятия решений по управлению движением судна /В.Г. Шерстюк //Вестник Херсонского национального технического университета. – 2008. – №4 (33). – С.180-189.
3. Мальцев, А. Маневрирование судов при расхождении /А.С. Мальцев. – Одесса: Морской тренажерный центр, 2004. – 212 с.
4. Сиек, Ю. Принципы синтеза интеллектуальных систем управления морскими динамическими объектами /Ю.Л. Сиек, Соэ Мин Лвин //Искусственный интеллект. – 2009. – №4. – С.448-456.
5. Топалов, В. К проблеме человеческого фактора в судоходстве /В.П. Топалов, В.Г. Торский, Ю.В. Торский //Судовождение. – 2004. – Вып. 8. – С.94-102.
6. Шерстюк, В. Принципы интеллектуальной поддержки принятия решений по управлению движением судна /В.Г. Шерстюк //Вестник Херсонского национального технического университета. – 2009. – №3 (36). – С.133-141.
7. Шерстюк, В. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений по управлению судном в условиях неполной и противоречивой информации /В.Г. Шерстюк, А.П. Бень //Судовождение. – 2007. – Вып. 14. – С.141-144.
8. Мальцев, А. Интеллектуальные гибридные системы поддержки принятия решений при расхождении судов /А.С. Мальцев //Судовождение. – 2006. – Вып. 11. – С.74-86.
9. Шерстюк, В. Сценарно-прецедентный подход к формированию управляющих воздействий в системе управления морского подвижного объекта /В.Г. Шерстюк //Проблемы информационных технологий. – 2009. – №2 (6). – С.69-77.
10. Aamodt, A. Case-based reasoning: foundational issues, methodological variations, and system approaches /A. Aamodt, E. Plaza //AI Communications. – 1994. – Vol. 7. – №1. – Pp.39-59.
11. Варшавский, П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений /П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев //Искусственный интеллект и принятие решений. – 2009. – №1. – С.45-57.
12. Карлин, С. Чебышевские системы и их применение в анализе и статистике /С. Карлин, В. Стадден. – М.: Наука, 1976. – 567 с.
13. Большаков, А. Синтез интеллектуальных организационно-технических систем управления /А.А. Большаков //Вестник Тамбовскогоо государственного технического университета. – 2004. – Т.10. – №4. – С.954-959.
14. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами /Под ред. А.А. Большакова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2006. – 160 с.
15. Люгер, Дж. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем /Дж. Ф. Люгер. – М.: Вильямс, 2003. – 864 с.
16. Шерстюк, В. Основы теории динамических сценарно-прецедентных интеллектуальных систем /В.Г. Шерстюк. – Херсон: Феникс, 2012. – 432 с.
17. Щербина, О. Удовлетворение ограничений и программирование в ограничениях /О.А. Щербина //Препринт. – University of Vienna, 2008. – 82 p.
18. Телерман, В. Удовлетворение ограничений в задачах математического программирования /В.В. Телерман, Д.М. Ушаков //Вычислительные технологии. – 1998. – Т.3. – №2. – С.45-54.
19. Щербина, О. Локальные элиминационные алгоритмы для задач удовлетворения ограничений /О.А. Щербина //Таврический вестник информатики и математики. – 2007. – №1. – С.24-39.
20. Macho-González, S. Open, Interactive and Dynamic CSP /S. Macho-González, P. Meseguer //Proc. Int. Workshop on Constraint Solving under Change and Uncertainty CP-2005. – Sitges, Spain, 2005. – Pp.13-17.

21. Bessiere, C. Arc-Consistency in Dynamic Constraint Satisfaction Problems /C. Bessiere //Proc. of 9th National Conf. on Artificial Intelligence. – Anaheim, CA: AAAI Press/MIT Press, 1991. – Vol.1. – Pp.221-226.
22. Mohr, R. Arc and Path Consistency Revisited /R. Mohr, T.C. Henderson //Artificial Intelligence. – 1986. – Vol.28. – Pp.225-233.
23. Тарасов, В. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика /В.Б. Тарасов. – М.: Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
24. Wooldridge, M. An Introduction to MultiAgent Systems /Michael Wooldridge. – N.Y.: J.Wiley & Sons, 2002. – 366 p.
25. Шерстюк, В. Моделирование навигационных ситуаций на основе логико-когнитивных агентов /В.Г. Шерстюк //Вестник Херсонского национального технич. университета. – 2009. – №1 (34). – С.24-30.
26. Шерстюк, В. Построение многоагентной логико-когнитивной модели совместного перемещения подвижных объектов /В.Г. Шерстюк //Вестник Херсонского национального технического университета. – 2011. – №1 (40). – С.204-211.
27. Linder, B. Modal Logics for Rational Agents: PhD thesis /B. van Linder. – Utrecht, Holland: Utrecht University, 1996.
28. Шерстюк, В. Классификация целей в бортовой интеллектуальной системе управления морского подвижного объекта /В.Г.Шерстюк //Вестник Херсонского национального технического университета. – 2010. – №2 (38). – С.172-179.

АЛГОРИТМИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ У ПРОСТОРІ

УДК 004.92:519.6

ГУЧЕК Петро Йосипович
к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету.
Наукові інтереси: математичне моделювання та інформаційні технології в природничих і технічних науках, наукова візуалізація.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Останнім часом розроблена велика кількість програмних систем, призначених для автоматизації чисельного розрахунку за допомогою методу скінченних елементів (МСЕ), який орієнтований на розв'язання прикладних задач [1-4]. Однак всі системи, як правило, є закритими для користувача, що не дозволяє втручатися в процес розрахунку на рівні методів розв'язання, а також досліджувати задачі, розв'язок яких не був передбачений розробниками[1]. Ці недоліки призводять до необхідності розробки інструментальних програмних засобів, які дозволяють розширити функціональні можливості відсутні в наявних програмних системах для більш детального дослідження, як стандартних так і нових альтернативних моделей [2-4].

АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ПУБЛІКАЦІЙ

Серендипові скінченні елементи (ССЕ) виникли у методі скінченних елементів і широко використовувались в ізопараметричних перетвореннях. Довгий час вважалось, що на кожному серендиповому елементі існує тільки стандартний базис, який отриманий *алгебраїчним методом* [5, 6]. На початку 80-х років були запропоновані *ймовірнісно-геометричні процедури* конструювання базисів скінченних елементів різноманітної конфігурації [7,8].

У [9] автори статті запропонували новий метод побудови ієрархічних форм базисних функцій на елементах серендипової сім'ї. За допомогою цього методу можливо конструювати альтернативні базиси з керуючим параметром на ССЕ. Наявність керуючого параметра дозволяє оптимізувати обчислювальні якості серендипових моделей і отримувати моделі, які реалізують додаткові умови [10].

Мета статті – розробка алгоритмів та процедури візуалізації температурних полів застосовуючи просторові скінченні елементи серендипової сім'ї.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

В роботі розглядаються просторові скінченні елементи серендипової сім'ї з трилінійною (рис. 1) та трикубічною (рис. 2) інтерполяцією.

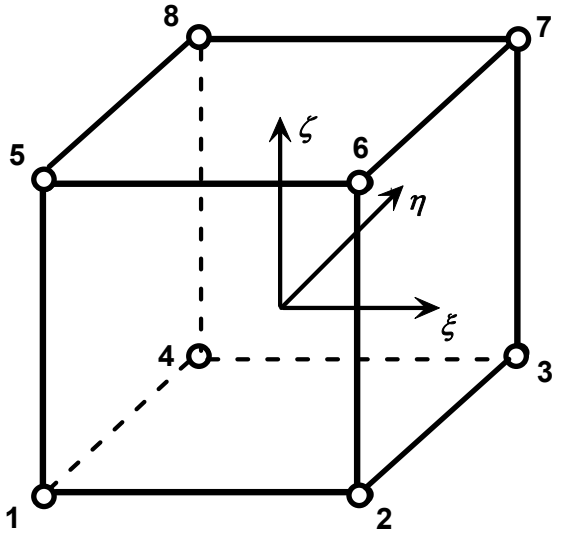


Рисунок 1 – ССЕ-8 ($|\xi| \le 1, |\eta| \le 1, |\zeta| \le 1$*)*

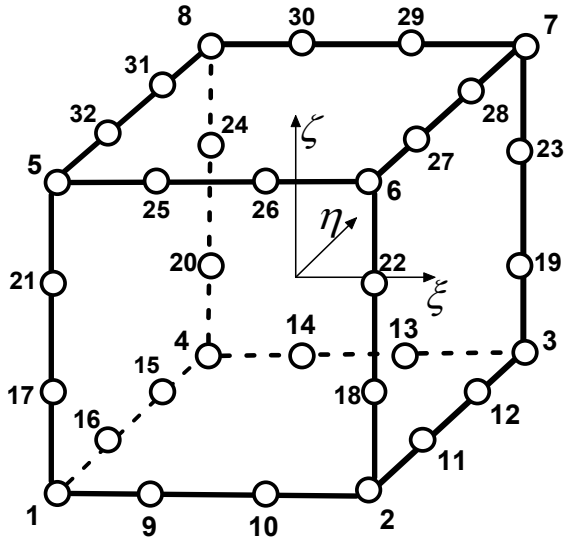


Рисунок 2 – ССЕ-32 ($|\xi| \le 1, |\eta| \le 1, |\zeta| \le 1$ *)*

Узагальнені формули для побудови базисних функцій трилінійного скінченого елемента ССЕ-8 мають вигляд:

$$N_i = \frac{1}{8}(1+\xi_i\xi)(1+\eta_i\eta)(1+\zeta_i\zeta), \quad \xi_i, \eta_i, \zeta_i = \pm 1, \ i = \overline{1,8}. \tag{1}$$

А також запишемо узагальнені формули для побудови базисних функцій трикубічного елемента ССЕ-32:

$$N_i(\xi,\eta,\zeta) = \frac{1}{64}(1+\xi_i\xi)(1+\eta_i\eta)\cdot (1+\zeta_i\zeta)\left(9\left(\xi^2+\eta^2+\zeta^2\right)-19\right), \quad \xi_i, \eta_i, \zeta_i = \pm 1; \ i = \overline{1,8}; \tag{2}$$

$$N_i(\xi,\eta,\zeta) = \frac{9}{64}\left(1-\xi^2\right)(1+9\xi_i\xi)\cdot (1+\eta_i\eta)(1+\zeta_i\zeta), \quad \xi_i = \pm\frac{1}{3}, \ \eta_i, \zeta_i = \pm 1, \tag{3}$$

$$i = 9,10,13,14,25,26,29,30.$$

Решта функцій утворюються із (3) шляхом циклічного переставлення ξ, η, ζ.

Для більш детального дослідження нових моделей просторових серендипових скінченних елементів виникла потреба в розробці процедури візуалізації температурних полів. В якості інструментального середовища для розробки процедури візуалізації використовувалися Delphi та бібліотека OpenGL. OpenGL є одним з найпопулярніших прикладних програмних інтерфейсів (API - Application Programming Interface) для розробки додатків в області двовимірної і тривимірної графіки. На сьогоднішній день графічна система OpenGL підтримується більшістю виробників апаратних і програмних платформ [12, 13].

Температура T в будь-якій внутрішній точці бруска в формі куба при використанні ССЕ-32 визначається за допомогою аналітичної залежності:

$$T = \sum_{i=1}^{32} N_i(\xi,\eta,\zeta)\cdot T_i, \tag{4}$$

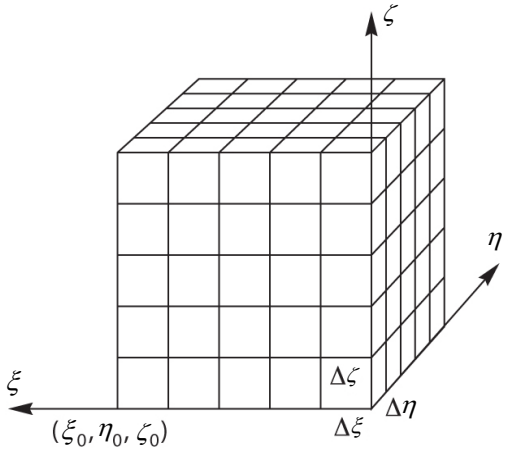
де N_i – базисні функції, T_i – температура у відповідній вузловій точці.

При роботі з функцією трьох змінних руки у нас зв'язані - всі три координати тривимірного простору вже зайняті трьома незалежними змінними. Тим не менше можна поширити методи візуалізації функції двох змінних і на візуалізацію скалярних полів [14].

Будемо вважати, що в нашому розпорядженні є масив значень функції, сформований або по результатам вимірювань реального процесу, або обчисленням аналітично заданої функції (4) в точках (ξ_i, η_j, ζ_k). Такий масив представляє об'ємну множину даних вибірок знятих на рівномірній сітці за координатами ξ, η, ζ (рис. 3). Отже, маємо

$$f_{ijk} = f(\xi_i, \eta_j, \zeta_k),$$

де $\xi_i = \xi_0 + i\Delta\xi, \quad \eta_j = \eta_0 + j\Delta\eta, \quad \zeta_k = \zeta_0 + k\Delta\zeta.$



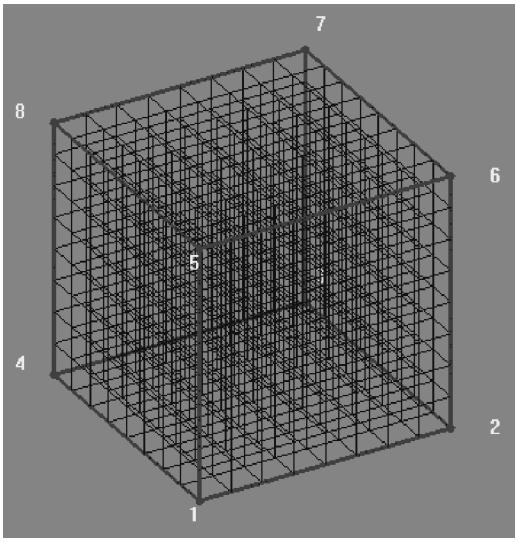


Рисунок 3 – Об'ємна множина даних

Кожне значення f_{ijk} можна вважати результатом усереднення скалярного поля в правильному паралелепіпеді зі сторонами $\Delta\xi$, $\Delta\eta$, $\Delta\zeta$, центр якого знаходиться в точці (ξ_i, η_j, ζ_k). Такий елементарний паралелепіпед будемо називати воксель (voxel) за аналогією з пікселем - елементарної області двомірної площини [14].

Тривимірний масив значень скалярного поля, відповідних вокселів, представляє структуровану множиною даних, оскільки при його зберіганні немає сенсу зберігати ще й інформацію про розміщення кожної вибірки в просторі.

Способів наочного представлення скалярного поля можна придумати навіть більше, ніж способів відображення функції двох змінних. Однак з всієї безлічі найбільшу популярність завоювали два - безпосереднє відображення об'єму і побудова ізоповерхні. При безпосередньому відображенні об'єму у формуванні зображення "приймає участь" кожен Воксель, а при побудові ізоповерхні в конкретному зображенні використовується тільки підмножина вокселів [14]. Для функції $f(\xi,\eta,\zeta)$ ізоповерхня визначається рівнянням в неявній формі:

$$f(\xi,\eta,\zeta) = c,$$

де с – рівень ізоповерхні.

Нехай є масив вибірок $\{f_{i,j,k}\}$ скалярного поля $f(\xi,\eta,\zeta)$ – множина вокселів. Потрібно за цими вибірками побудувати ізоповерхню у формі полігональної сітки. Для заданого значення с може існувати єдина ізоповерхня, ніякої ізоповерхні або декілька. Враховуючи, що графічна система найкраще справляється з завданням відображення тривимірних трикутників, застосуємо метод, який дозволить відшукати вершини ізоповерхні і апроксимувати її множиною трикутників. Цей метод отримав найменування методу маркірованих кубиків і вперше був запропонований в 1987 році на конференції SIGGRAPH Вільямом Лоренсеном і Харві Клайном [15].

Будемо вважати, що вибірки зняті на рівномірній сітці, вузли якої збігаються з центрами вокселів. Вісім сусідніх вузлів просторової сітки утворюють одну комірку в формі кубика (рис. 4). Воксель (i, j, k) в кутку цієї комірки має значення f_{ijk}. Тепер на основі наявних значень вокселів слід проаналізувати, чи проходить ізоповерхня через дану комірку, і якщо проходить, то відшукати координати вершин відповідної ділянки.

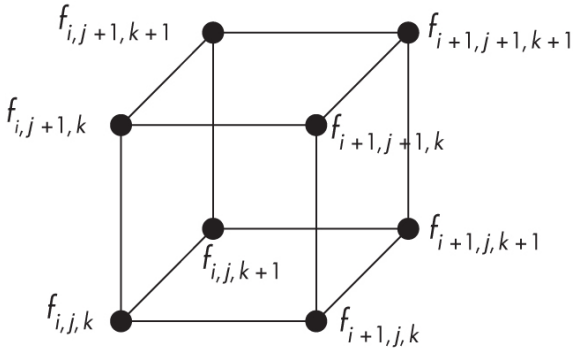


Рисунок 4 – Комірка вокселів

Для даного значення рівня ізоповерхні *c* можна промаркувати чорним і білим кольором вершини комірки в залежності від того, перевищує значення відповідного вокселя *c* чи ні. Існує 2^8=256 можливих варіантів маркування окремої комірки. Але взявши до уваги наявну симетрію окремих варіантів, все розмаїття зводиться до 14 унікальних випадків (рис. 5).

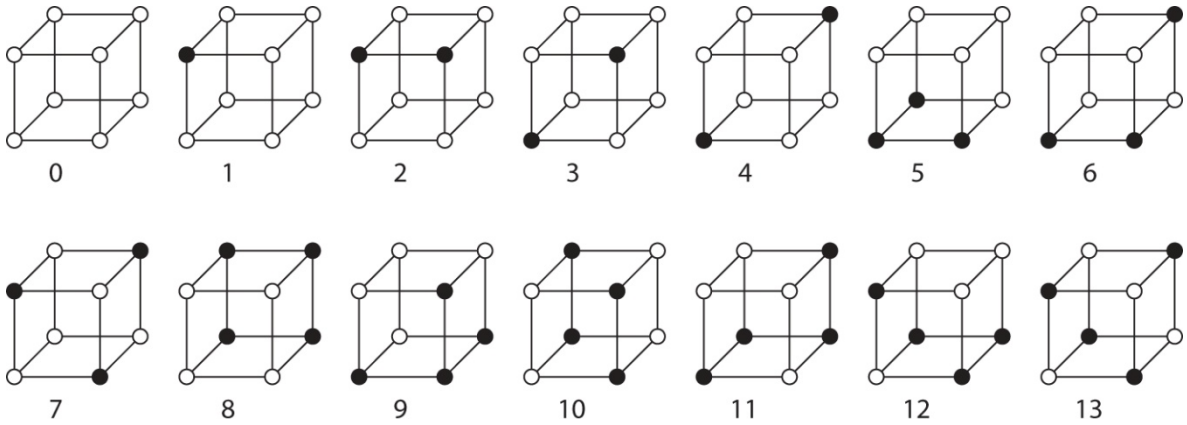


Рисунок 5 – Варіанти маркування комірок вокселів

Точки перетину поверхні з ребрами комірки можна обчислити, використовуючи той же метод інтерполяції, який застосовувався при обробці квадратних комірок у методі маркірованих квадратів [14]. Після визначення координат точок перетину формується ділянку ізоповерхні у вигляді одного або декількох трикутників (рис. 6).

Кубічні комірки вокселів можна обробляти незалежно один від одного. Значення кожного внутрішнього вокселя (тобто вокселя, не розташованого по краях області існування скалярного поля) впливає на розташування ділянок ізоповерхні у восьми сусідніх комірках. Найпростіший алгоритм – обробляти осередок послідовно, рядок за рядком, шар за шаром.

Після обробки чергової комірки сформована в ній ділянка ізоповерхні у вигляді одного або декількох трикутників передається в конвеєр візуалізації графічної системи. Оскільки до цього алгоритму досить просто можна застосувати паралельну обробку, метод маркірованих кубиків широко використовується для візуалізації тривимірних даних. Цей метод одночасно служить і для стиснення інформації, наявної у вихідному масиві вокселів, а також для моделювання.

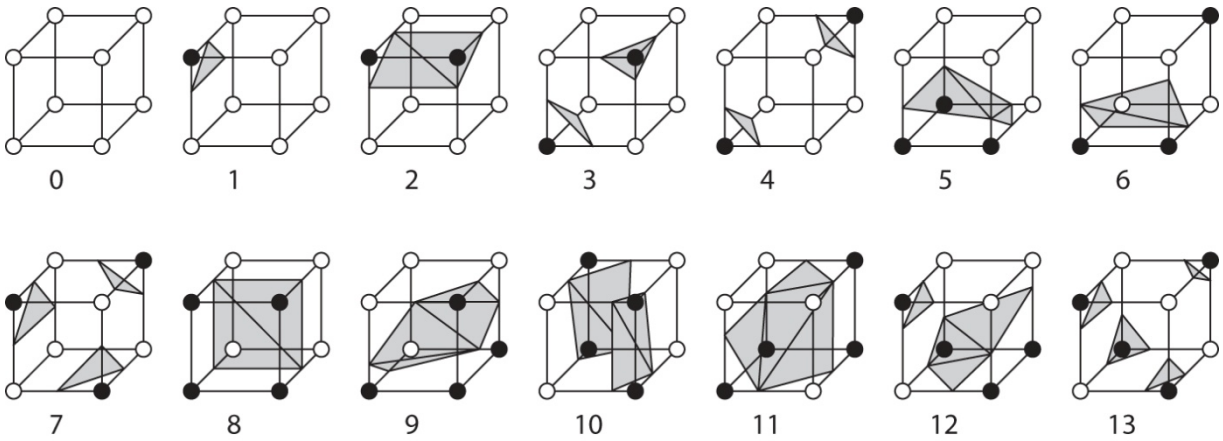


Рисунок 6 – Елементарні ділянки ізоповерхні в осередках вокселів

В процедурі візуалізації температурних полів при застосуванні просторових серендипових скінчених елементів реалізований гнучкий механізм, що задає кількість точок розбиття з метою швидкого ескізного зображення як ізоповерхні, так і об'ємного зображення скалярного поля температур. Сукупність таких точок утворюють комірки, вершини яких розглядаються за викладеним вище методом для побудови температурних полів. Завдяки гнучкому механізму вибору числа інтервалів дискретизації, та лінійної інтерполяції трьох змінних між вузловими значеннями ми отримуємо реалістичну згладжену ізоповерхню тривимірного

скалярного поля. Для відображення температури в осередках вокселів використовується колір зображення (рис. 7), де кожне значення температури передається на екрані монітора своїм кольором. Ділянки із зниженою температурою, передаються «холодними» кольорами (синіми), а з підвищеною температурою — «теплими» кольорами (рожевим, червоним). Розроблена процедура в інтерактивному режимі дозволяє змінювати температуру у базових вузлових точках, що дає змогу перевіряти нові моделі на різних класах задач, виявляти аномалії та проводити порівняння з іншими моделями та методами розрахунку.

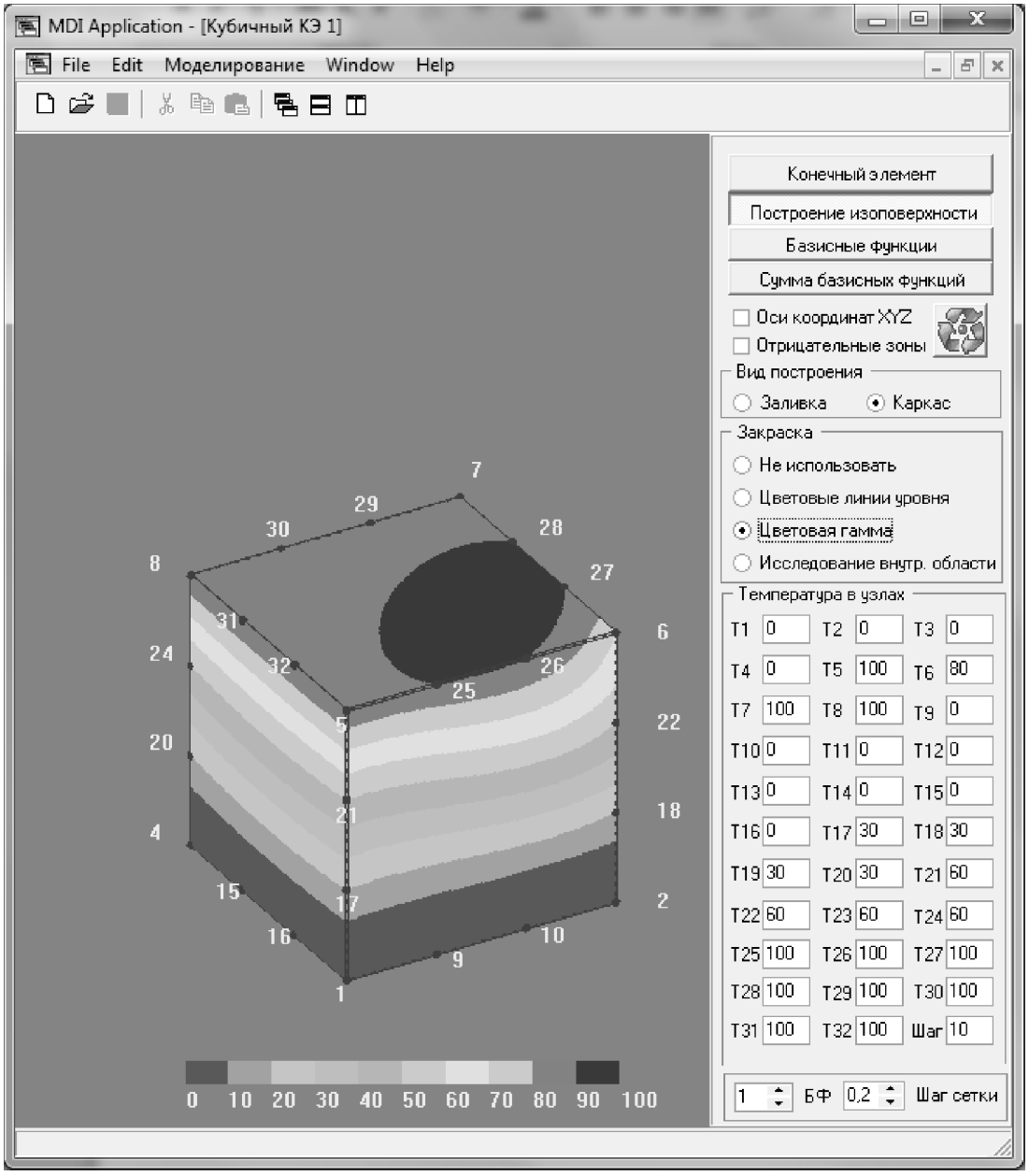


Рисунок 7 – Візуалізація температурного поля використовуючи ССЕ-32

Алгоритм роботи процедури візуалізації представлений на рис. 8.

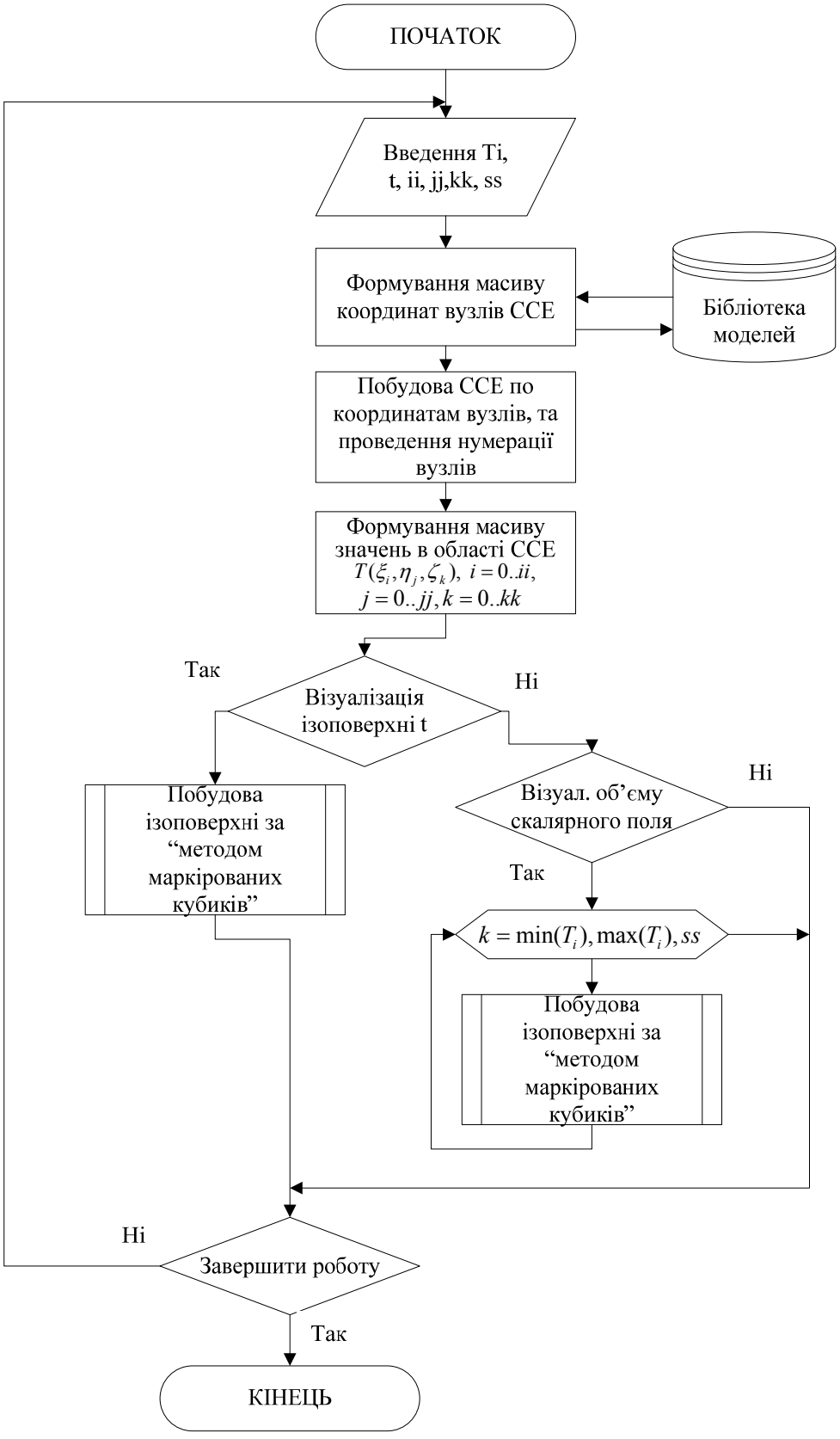


Рисунок 8 – Алгоритм процедури візуалізації

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі розроблена процедура візуалізації температурних полів використовуючи просторові серендипові скінченні елементи, що дозволяє більш детально досліджувати нові альтернативні моделі на CCE-8 та CCE-32. Цікавим є використання процедури візуалізації на елементі четвертого порядку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация /В.А. Толок, В.В. Киричевский, С.И. Гоменюк, С.Н. Гребенюк, Д.П. Бувайло. – К.: Наук. думка, 2003. – 316 с.
2. Гучек П.И. Геометрическое моделирование и компьютерная визуализация базисов конечных элементов /П.И. Гучек //Нелинейные краевые задачи математической физики и их приложения. Сб. науч. тр. – 1996. – С.95-97.
3. Гучек П.И. Компьютерная визуализация функций формы конечных элементов /П.И. Гучек //Інтегральні перетворення та їх застосування до крайових задач – 1997. – Вып. 14. – С.79-81.
4. Гучек П.Й. Інтерактивна процедура візуалізації функцій форми на серендипових елементах /П.Й. Гучек, О.І. Литвиненко, А.Н. Хомченко //Вестник Херсонского национального технического университета. – 2012. – №1 (44). – С.274-280.
5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике /О. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с.
6. Taylor R.L. On the completeness of shape functions for finite element analysis /R.L. Taylor //Internat. J. Numer. Methods Eng. – 1972. – V.4. – №1. – P.17-22.
7. Хомченко А.Н. О вероятностном построении базисных функций МКЭ /А.Н. Хомченко //Ивано-Франковс. ин-т нефти и газа. – Ивано-Франковск, 1982. – 5 с. – Деп. в ВИНИТИ 21.10.1982, №5264.
8. Хомченко А.Н. Геометрия серендиповых аппроксимаций /А.Н. Хомченко, Е.И. Литвиненко, П.И. Гучек //Прикл. геом. и инж. графика. – К.: Будівельник, 1996. – Вып. 59. – С.40-42.
9. Хомченко А.Н. Новый подход к построению базисов серендиповых элементов /А.Н. Хомченко, Е.И. Литвиненко, И.А. Астионенко //Геометричне та комп'ютерне моделювання. – 2009. – Вип. 23. – С.90-95
10. Попов Б.А. Приближение функций для технических приложений /Б.А. Попов, Г.С. Теслер. – К.: Наукова думка, 1980. – 352 с.
11. Гучек П.Й. Інформаційна технологія підтримки процедури візуалізації серендипових поверхонь /П.Й. Гучек, О.І. Литвиненко, А.Н. Хомченко //Проблеми інформаційних технологій. – 2011. – №2. – С.68-72.
12. Херн Д. Компьютерная графика и стандарт OpenGL /Д. Херн, М. Паулин Бейкер. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. – 1168 с.
13. Райт Ричард С. OpenGL. /Ричард С. Райт, Бенджамин Липчак. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1040 с.
14. Эйнджел Эдвард Интерактивная компьютерная графика. Вводный курс на базе OpenGL. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 592 с.
15. Lorensen W.E. Marching Cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm /W.E. Lorensen, H.E. Cline //Computer Graphics. – 1987. – 21(4). – P.163-169.

ПРОГНОЗУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГЕТЕРОГЕННИХ КОМПОЗИТНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ

УДК 681.5

БУКЕТОВ Андрій Вікторович
д.т.н., професор, завідувач кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки Херсонської державної морської академії.
Наукові інтереси: інформаційні технології.

КРАВЦОВА Людмила Володимирівна
к.т.н., доцент, завідувач кафедри інформатики Херсонської державної морської академії.
Наукові інтереси: інформаційні технології.

ПІРОГ Алла Петрівна
аспірант кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки Херсонської державної морської академії.
Наукові інтереси: інформаційні технології.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

На сьогодні досить актуальною є проблема прогнозування властивостей полімерних гетерогенних композитних матеріалів (чи систем) залежно від вмісту у зв'язувачі дисперсного наповнювача. Задачею ставиться моделювання і прогнозування властивостей композитів, виходячи з мінімальної апріорної інформації про систему [1-4]. Іншими словами, ставилось завдання проаналізувати результати дослідження фізико-механічних властивостей композитних матеріалів (КМ) та надалі спрогнозувати показники інших (у нашому випадку теплофізичних) характеристик КМ. На попередньому етапі проведено дослідження фізико-механічних і теплофізичних властивостей КМ. Епоксидні КМ формували на основі олігомера ЕД-20 (100 мас.ч.), який затверджували твердником ПЕПА (10 мас.ч.). Поетапно до зв'язувача додавали наповнювач (частки карбіду кремнію SiC) у кількості від 20 до 120 мас.ч. з кроком 20 мас.ч. Далі затверджували КМ і досліджували їх властивості. У даній роботі було досліджено такі властивості матеріалів:

– властивості структури: вміст гель-фракції (G), залишкові напруження ($\sigma_{зал}$);
– фізико-механічні властивості: руйнівне напруження при згинанні ($\sigma_{зг}$), модуль пружності (E), ударна в'язкість (a);
– теплофізичні властивості: теплостійкість (T).

Зазначимо, що досліджувані властивості матеріалів вибрано не спонтанно, а виходячи з наступних положень. Відомо [5], що однією з найважливіших характеристик структури полімерних композитів є вміст гель-фракції у матеріалах. Дана величина виражається у відсотках і характеризує ступінь зшивання КМ. Вміст гель-фракції опосередковано характеризує міцність композитів, яка, у свою чергу, визначає їх фізико-механічні (руйнівне напруження при згинанні, модуль пружності, ударна в'язкість) і теплофізичні (теплостій-

кість) властивості. Звісно, прямої залежності між даними характеристиками немає (що й підтверджено експериментально), проте в загальному можна вважати, що дані властивості епоксикомпозитів є опосередковано взаємозалежними.

Отже, можна стверджувати, що фізико-механічні і теплофізичні властивості композитів залежать від властивостей структури, які, у нашому випадку, визначаються такими характеристиками як гель-фракція та залишкові напруження. Актуальним на сьогодні є об'єднання залежностей наведених вище властивостей матеріалів (наприклад, від вмісту часток наповнювача у зв'язувачі) у математичну модель з метою прогнозування поведінки КМ під впливом зовнішніх факторів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

При коротко- чи довготривалому прогнозуванні часто використовують експериментальні методи, до яких відносять методи самоорганізації. Застосування методів самоорганізації передбачає, що усі основні тенденції розвитку процесу відображені у таблиці спостереження. Застосуванню експериментальних методів сприяє також суттєва інерційність процесів. За допомогою експериментальних методів вирішують задачу прогнозування на основі інформації про попередні стани системи. На наступних етапах прогнозують поведінку системи за умови, коли не виникає ніяких принципових (структурних) змін у об'єкті дослідження і зовнішні керуючі фактори змінюються у тих же межах, що й у попередніх станах [1, 3, 6]. У цьому випадку математична модель, отримана на підставі інформації про поведінку об'єкта у попередніх станах, залишається інформативною (або адекватною) упродовж усього інтервалу прогнозування.

Мета роботи – використовуючи методи математичного програмування розробити математичну модель для прогнозування властивостей гетерогенних композитних систем, провести експеримент і перевірити адекватність моделі до експериментальних даних.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

В результаті серії експериментів отримали таблицю залежностей п'яти функцій аргументу x: $y_1 = f_1(x)$, $y_2 = f_2(x)$, $y_3 = f_3(x)$, $y_4 = f_4(x)$, $y_5 = f_5(x)$. Необхідно побудувати аналітичну залежність значень останнього рядка таблиці від п'яти попередніх: $f_6 = F(f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x))$.

Таблиця 1 –

Залежність властивостей КМ від вмісту наповнювача карбіду кремнію

Властивості	Значення аргументу (x)						
	0	20	40	60	80	100	120
$f_1(x) = G, \%$	95,15	96,4	96,8	97,3	96,9	96,8	96
$f_2(x) = \sigma_{зал}, МПа$	7,2	3,3	3,8	4,1	3,8	5,3	5,2
$f_3(x) = \sigma_{зг}, МПа$	33,5	77,5	87	90	110,2	114,5	104
$f_4(x) = E, ГПа$	3,62	5,01	5,16	5,21	5,17	5,82	5,68
$f_5(x) = a, кДж/м^2$	6,31	8,68	9,15	9,7	9,83	9,43	8,81
$f_6 = T, K$	359	378	385	387,5	394,5	401	398

Слід зауважити, що усі табличні значення функцій f_1 - f_6 є випадковими величинами, оскільки при реалізації будь-якого реального процесу суттєво впливають зовнішні фактори, тому немає необхідності вимагати співпадання табличних значень функції і значень, які відповідають аналітичній функції $f_6 = F(f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x))$.

Рішення задачі. Оскільки функції $y_1 = f_1(x)$, $y_2 = f_2(x)$, $y_3 = f_3(x)$, $y_4 = f_4(x)$, $y_5 = f_5(x)$, $y_6 = f_6(x)$ задано у вигляді таблиці, апроксимуємо кожну з них поліномом 4-го степеня, використовуючи можливості ***MS Excel 2003***, а саме, побудуємо графіки кожної з функцій. Для цього у вкладці «Добавить линию тренда» виберемо тип «Полиномиальный» 4-го степеня, а у вкладці «Параметры» відмітимо «Показать уравнение» (рис. 1, рис. 2).

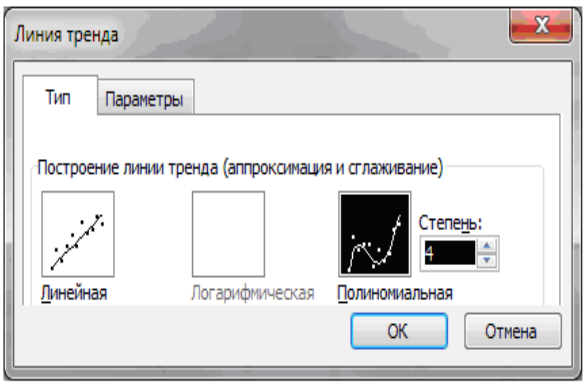


Рисунок 1 – Вибір типу лінії тренду

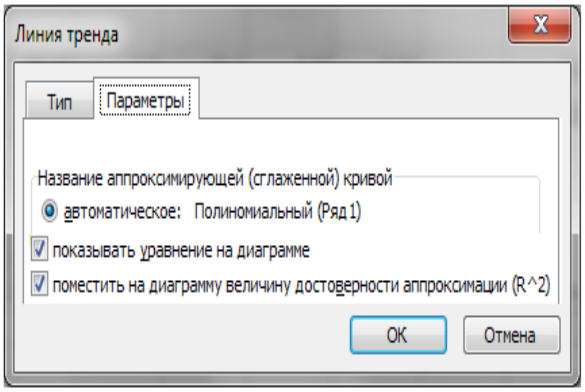


Рисунок 2 – Вибір параметрів лінії тренду

Таким чином, для кожної функції отримаємо графіки залежностей $y_n = f_n(x)$. Слід зазначити, що апроксимацію заданої у вигляді таблиці функції в MS Excel проводили методом найменших квадратів, тобто будували аналітичну функцію $\overline{y} = \varphi(x, a_0, a_1, , , a_n)$, яка найкращим чином описує табличну. У даному випадку необхідно встановити параметри залежності $a_0, a_1, , , a_n$. При цьому критерій оптимальності параметрів має вигляд:

$$\sigma(a_0, a_1 \ldots a_n) = \sum_{i=1}^{n} (\overline{y_i} - y_i)^2 \to \min \qquad (1)$$

де $\overline{y}$ – розрахункове значення факторного признаку ***Y***, y_i – табличне значення для відповідного x_i, $\sum_{i=1}^{n} (\overline{y_i} - y_i)^2$ – сума квадратів відхилень розрахункових значень від табличних.

Аналізуючи графіки апроксимуючих функцій та показники достовірності можна констатувати, що отримані аналітичні функції є достатньо точними. Однак спроба отримання аналітичної функції f_6 у вигляді суперпозиції функцій $f_1(x)$, $f_2(x)$, $f_3(x)$, $f_4(x)$, $f_5(x)$ не забезпечила необхідних результатів. У цьому випадку виявили, що достовірність апроксимації недостатньо висока.

Для вирішення поставленої задачі пропонується метод, що ґрунтується на моделях математичного лінійного програмування [7-9]. Для отримання аналітичної залежності представимо шукану функцію f_6 як лінійну комбінацію значень функцій $(f_1(x), f_2(x), f_3(x), f_4(x), f_5(x))$, заданих у табличній формі:

$$f_6 = c_1 \cdot f_1(x) + c_2 \cdot f_2(x) + c_4 \cdot f_4(x) + c_5 \cdot f_5(x) \qquad (2)$$

Коефіцієнти c1, c2, c3, c4, c5 необхідно визначити. У якості функцій f1(x), $f_2(x)$, $f_3(x)$, $f_4(x)$, $f_5(x)$ будемо використовувати відомі табличні значення:

$$\begin{cases} 95.15c_1 + 7.2c_2 + 33.5c_3 + 3.62c_4 + 6.31c_5 = 359 \\ 96.4c_1 + 3.3c_2 + 77.5c_3 + 5.01c_4 + 8.68c_5 \le 378 \\ 96.8c_1 + 3.8c_2 + 87c_3 + 5.16c_4 + 9.15c_5 \le 385 \\ 97.3c_1 + 4.1c_2 + 90c_3 + 5.21c_4 + 9.83c_5 \le 387.5 \\ 96.9c_1 + 3.8c_2 + 110.2c_3 + 5.17c_4 + 9.83c_5 \le 394.5 \\ 96.8c_1 + 5.3c_2 + 114.5c_3 + 5.82c_4 + 9.43c_5 \le 401 \\ 96c_1 + 5.2c_2 + 104c_3 + 5.68c_4 + 8.81c_5 \le 398 \end{cases} \qquad (3)$$

Отримана система має п'ять невідомих, які необхідно визначити, і сім співвідношень. Першу рівність з наведеного спектру співвідношень будемо використовувати у якості цільової функції, а інші нерівності – у якості системи обмежень. Рішення системи (3) знайдемо за допомогою модуля «Поиск решения» електронних таблиць MS Excel. У системі (3) можна побачити транспоновану матрицю коефіцієнтів таблиці 1. Внесемо коефіцієнти системи в діапазон (A3:E9), а елементи правої частини системи (3) – у діапазон (H3:H9) (рис. 3). Шукані значення невідомих (J3:J7) приймемо рівними 1 («опорний план») (діапазон K3:K7). У процесі реалізації рішення у модулі «Поиск решения» ці значення будуть змінені.

Microsoft Excel - Функция

A1 | коэффициенты при неизвестных

	A	B	C	D	E	H	I	J	K
1	коэффициенты при неизвестных								
2	c1	c2	c3	c4	c5	b			
3	95,15	7,2	33,5	3,62	6,31	359		c1=	1
4	96,4	3,3	77,5	5,01	8,68	378		c2=	1
5	96,8	3,8	87	5,16	9,15	385		c3=	1
6	97,3	4,1	90	5,21	9,7	387,5		c4=	1
7	96,9	3,8	110,2	5,17	9,83	394,5		c5=	1
8	96,8	5,3	114,5	5,82	9,43	401			
9	96	5,2	104	5,68	8,81	398			

Лист1 | Лист1 (2) | Лист2 | функция

Рисунок 3 – Матриця вихідних даних

У стовпці F (діапазон F3:F9) обчислимо значення лівої частини системи (5) при c1 = c2 =…=c5=1 (значення опорного плану): множення матриці A3:E9 на стовбець K3:K7 за допомогою вбудованої математичної функції МУМНОЖ. В результаті отримаємо наступну таблицю (рис. 4):

Microsoft Excel - Функция

F3 {=МУМНОЖ(A3:E9;K3:K7)}

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	коэффициенты при неизвестных										
2	c1	c2	c3	c4	c5	b расчетное		b			
3	95,15	7,2	33,5	3,62	6,31	145,78	=	359		c1=	1
4	96,4	3,3	77,5	5,01	8,68	190,89	<=	378		c2=	1
5	96,8	3,8	87	5,16	9,15	201,91	<=	385		c3=	1
6	97,3	4,1	90	5,21	9,7	206,31	<=	387,5		c4=	1
7	96,9	3,8	110,2	5,17	9,83	225,90	<=	394,5		c5=	1
8	96,8	5,3	114,5	5,82	9,43	231,85	<=	401			
9	96	5,2	104	5,68	8,81	219,69	<=	398			

Лист1 / Лист1 (2) / Лист2 / функция

Рисунок 4 – Обчислення значень правої частини системи

Наступним етапом було заповнення модуля (Сервис /Поиск решения) (рис. 5).

Після натискання кнопки «выполнить» отримали оптимальне значення параметрів системи, що має вигляд: c_1=3,3134, c_2=2,7236, c_3=0,4523, c_4=1,5575, c_5=0,5276. Тоді функціональна залежність (1) виглядає наступним чином:

$$f_6 = 3,3134 f_1(x) + 2,7236 f_2(x) + \\ +0,4523 f_3 + 1,5575 f_4(x) + 0,5276 f_5(x) \qquad (4)$$

Надалі для значень аргументу (табл. 1) 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120 побудуємо графіки табличної і аналітичної залежності (рис. 6). Як бачимо, аналітична функція (4) дійсно оптимально відтворює функцію f_6, задану табл. 1.

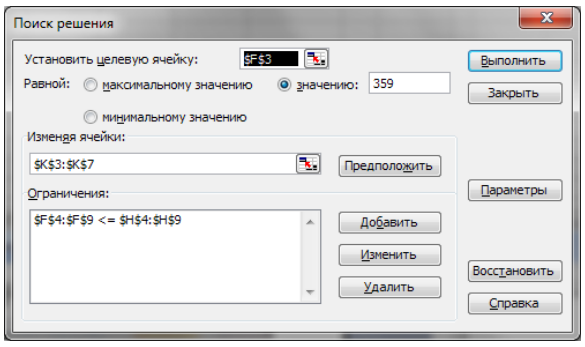


Рисунок 5 – Заповнення модуля «Поиск решения»

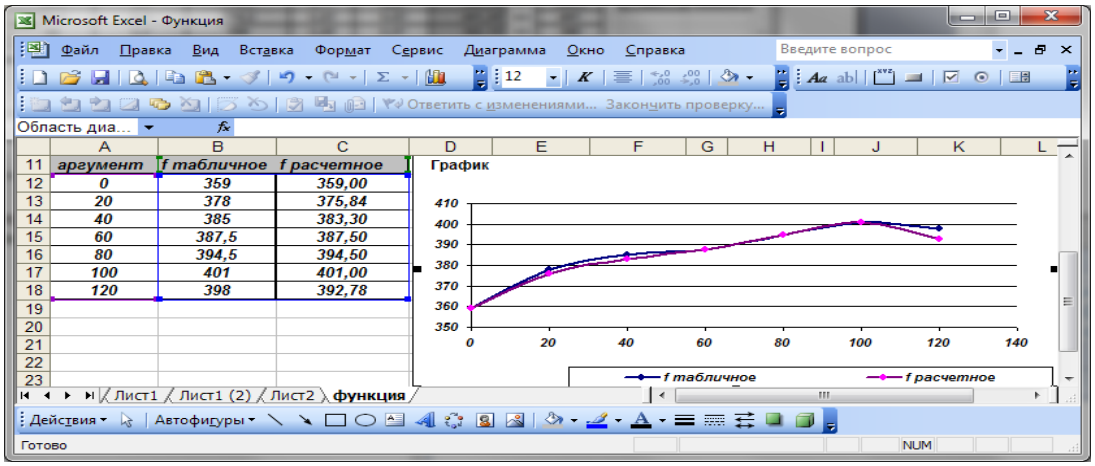


Рисунок 6 – Графіки табличної та розрахункової залежностей

ВИСНОВКИ

В роботі з використанням методів математичного програмування розроблено математичну модель для прогнозування властивостей гетерогенних композитних систем. На попередньому етапі для отримання апріорної інформації при досліджувану систему вибрано її основні властивості, які різнобічно характеризують об'єкт. Зазначимо, що досліджувані властивості є опосередковано взаємопов'язаними і містять інформацію про структуру системи, її фізико-механічні та теплофізичні властивості. На наступному етапі проведено серію експериментів і з використанням програмного середовища MS Excel 2003 побудовано математичну залежність властивості системи у вигляді функції від інших відомих характеристик. У майбутньому авторами заплановано розробити математичну модель, яка дозволить прогнозувати властивості матеріалів з тою чи іншою вірогідністю.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Томашевський В.М. Моделювання систем /В.М. Томашевський. – К.: Вид-во "BHV", 2005. – 352 с.
2. Акаике Х. Развитие статистических методов. – В кн.: Современные методы идентификации систем. – М.: Мир, 1983. – 400 с.
3. Букетов А.В. Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів та систем: Посібник /А.В.Букетов. – Тернопіль: СМП «Тайп», 2009. – 260 с.
4. Копп В.Я. Моделирование автоматизированных линий /В.Я. Копп, Ю.Е. Обжерин, О.И. Песчанский. – Севастополь: СевГТУ, 2006. – 240 с.
5. Стухляк П.Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням /П.Д. Стухляк, А.В. Букетов. – Тернопіль: Збруч, 2009. – 237 с.
6. Томашевський В.М. Вирішення практичних завдань методами комп'ютерного моделювання /В.М. Томашевський. О.Г. Данова, О.О. Жолдаков. – К.: Корнійчук, 2001. – 267 с.
7. Лунгу К.Н. Линейное программирование. Руководство к решению задач /К.Н. Лунгу. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 128 с.
8. Грешилов А.А. Прикладные задачи математического программирования: Учебное пособие /А.А. Грешилов. – 2-е изд. – М.: Логос, 2006. – 288 с.
9. Карманов В.Г. Математическое программирование: Учеб. пособие /В.Г. Карманов. – 5-е изд., стереотип. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 264 с.

КОНЦЕПЦІЇ ТА МЕТОДИ ВДОСКОНАЛЮВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З КОМП'ЮТЕРНОЇ ГРАФІКИ

УДК 004.3(075)

ВЕСЕЛОВСЬКА Галина Вікторівна
к.т.н., доцент кафедри інформаційних технологій
Херсонського національного технічного університету.
Наукові інтереси: розробка концепцій і моделей підвищення
ефективності систем комп'ютерного навчання.
e-mail: galina.veselovskaya@gmail.com

ЧЕКЛІН Андрій Дмитрович
студент спеціальності 7.091501 «Комп'ютерні системи та мережі»
кафедри інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету.
Наукові інтереси: розробка концепцій і моделей підвищення ефективності
комп'ютерних систем і мереж, інформаційних систем, систем комп'ютерного навчання.

КИБАЛКО Ігор Іванович
к.т.н., старший викладач кафедри інформаційних технологій
Херсонського національного технічного університету.
Наукові інтереси: розробка концепцій і моделей підвищення ефективності
комп'ютерних систем і мереж, систем комп'ютерного навчання.
e-mail: lion_pif@kstu.edu.ua

ВСТУП

Створення сучасних автоматизованих інформаційних систем (АІС) базується на усталеному фундаменті теоретичних розробок і практичного досвіду їх апробації, але, разом із тим, розробка АІС для нових предметних галузей та модифікація АІС із урахуванням необхідності розв'язування нових задач вимагає виконання додаткових досліджень і розробок, пов'язаних із проблемою вивчення та відображення їх специфіки [1-5].

Однією з безумовно актуальних предметних галузей сьогодення є комп'ютерна графіка, засоби та методи якої є невід'ємною складовою для високоефективного здійснення переважної більшості видів професійної діяльності, навчання та дозвілля людини; відповідно, автоматизація інформаційної діяльності з комп'ютерної графіки надає можливість зробити процеси споживання актуальної інформації продуктивнішими та комфортнішими [6-16].

Багаторічний практичний досвід і проведені авторами численні дослідження показують, що, в цілому, наявні на даний момент АІС, предметна галузь яких охоплює питання, пов'язані з теоретичними аспектами та прикладними застосуваннями комп'ютерної графіки, незважаючи на їх численність і різноманіття видів (демонстраційні, рекламно-презентаційні, інформаційно-довідкові, інформаційно-пошукові, навчальні, науково-популярні, науково-дослідні тощо), не дозволяють здійснювати достатньо оперативну, результативну та комфортну для користувача орієнтацію та навігацію в просторі інформаційних джерел і ресурсів комп'ютерної графіки.

Окреслений поточний стан справ у галузі АІС з комп'ютерної графіки вимагає подальшого вдосконалювання концепцій і методів їх побудови, зі здійсненням відповідних додаткових досліджень і розробок та отриманням принципово нових результатів.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Сучасній комп'ютерній графіці як предметній галузі властиві численні особливості, що суттєво впливають на характер і показники ефективності процесу та результатів взаємодії користувачів із інформаційними джерелами та ресурсами (ІДР) зазначеної галузі.

Серед указаних вище особливостей у першу чергу слід відзначити наступні:

– наявність численних розгалужень зі складною структурою та сильно розвиненою в горизонтальному та вертикальному напрямках ієрархією, потужний взаємний вплив підгалузей та інтенсивна взаємодія прогресивних напрямків розвитку, надвеликі обсяги наявної інформації та їх подальше стрімке зростання, неперервний динамічний розвиток згідно з передовими досягненнями науково-технічного прогресу та зростанням потреб прикладних галузей;

– слабка дослідженість, систематизованість, структурованість та інтегрованість простору інформаційних ресурсів;

– відсутність єдиних централізованих засобів автоматизації та управління ІДР.

Перелічені особливості ускладнюють у цілому та погіршують поокремі найважливіші характеристики роботи користувачів у просторі ІДР комп'ютерної графіки, оскільки їх підсумковий вплив призводить до того, що можливості та оптимальні моделі виявлення та вибору зазначених ІДР, а також доступу до них та взаємодії з ними виявляються непрозорими (недостатньо очевидними або навіть повністю неявними) для користувачів.

Виходячи з вище сказаного, розробка АІС з комп'ютерної графіки, орієнтованих на підвищення рівня дослідженості, систематизованості, структуризованості, інтегрованості та централізованості ІДР комп'ютерної графіки з метою наближення їх до користувачів та уніфікації технологій взаємодії з ними, є актуальною задачею, що вимагає отримання нових розв'язків і застосування системотехнічних підходів до їх пошуку.

У публікаціях [17]-[22] авторами було розглянуто ряд окремих аспектів вирішення поставленої вище проблеми, націлених на підвищення ефективності взаємодії користувачів із ІДР у цілому, а також у прив'язці до специфіки галузей знань із динамічно змінюваним контентом (на прикладі галузі інформатики та обчислювальної техніки) та до особливостей сфери комп'ютерного навчання (на прикладі ряду фахових дисциплін кафедри інформаційних технологій факультету кібернетики Херсонського національного технічного університету).

У даній статті здійснено реалізацію загальних концепцій і методів підвищення ефективності взаємодії користувачів із ІДР предметних галузей із динамічним розвитком інформаційного простору, викладених у роботах [17]-[22], у прив'язці до специфіки сучасного стану та тенденцій розвитку комп'ютерної графіки як галузі знань.

РОЗВ'ЯЗОК ЗАДАЧІ

Детальне дослідження специфіки сучасної комп'ютерної графіки, з акцентуванням уваги на моделюванні інформаційних потреб і запитів користувачів ІДР даної галузі знань, а також їх вимог до технологій інформаційної взаємодії, висунуло на перший план проблему максимально можливого наближення зазначених ІДР до користувачів під кутом зору розглянутих нижче трьох аспектів.

Перший аспект полягає в актуальності проблеми забезпечення користувачів ІДР комп'ютерної графіки можливістю оперативно отримувати щодо них наступні дієві рішення:

– максимально вичерпну поінформованість про наявність ІДР, характеристики їх статусу, технології доступу до них та взаємодії з ними;

– безпроблемний фактичний доступ і взаємодію з ІДР;

– адаптивний характер роботи з ІДР в оптимальних для користувачів технологічних режимах доступу та взаємодії.

Другий аспект полягає в задіянні максимально можливого спектру охоплення та ступеня інтеграції сучасних інформаційних технологій з метою досягнення верхньої межі якості та адаптивності інформаційного сервісу взаємодії користувачів із ІДР комп'ютерної графіки – як у сенсі найвищого можливого рівня зміс-

товної та візуальної якості подання інформації та інтерфейсу взаємодії з нею, так і в сенсі комфортності роботи з інформацією та застосування інтерфейсу.

Третій аспект полягає в задіянні високого ступеня кореляції та динаміки взаємодії сучасних інформаційних технологій з метою забезпечення максимально оперативного, легкого, комфортного та економічного способу доступу користувачів до ІДР комп'ютерної графіки та роботи з ними з точки зору ефективної підтримки наступних технологічних ланок:

– обробки інформації (введення/виведення з оптимальним переформатуванням, найдоцільнішого внутрішнього подання, гнучкої модифікації, забезпечення швидкої та якісної візуалізації, досягнення оптимального балансу компактності та якості зберігання, створення передумов для надійної та безпечної передачі лініями зв'язку та т.і.);

– ергономічного та продуктивного функціонування інтерфейсів;

– ефективного здійснення локального та мережного дистанційного доступу та взаємодії тощо.

Виходячи з вище сказаного, авторами статті запропоновано ряд вузькоспеціалізованих проблемно-орієнтованих концепцій і методів застосування сучасних інформаційних технологій до вдосконалювання АІС з комп'ютерної графіки, що, доповнюючи та розвиваючи існуючі фундаментальні підходи, становлять основу для вирішення наступних актуальних завдань:

– інтеграції ключових відомостей про існуючі ІДР у галузі комп'ютерної графіки;

– забезпечення максимально прозорої, ергономічної, комфортної, оперативної та економічно збалансованої взаємодії користувачів із зазначеними ІДР;

– створення продуктивних систем дистанційного навчання з комп'ютерної графіки.

Згідно зі здійсненим аналізом специфіки предметної галузі сучасної комп'ютерної графіки та відповідно до виконаної вище деталізації постановки задачі, актуальною та практично доцільною є інтеграція в рамках єдиної АІС не тільки та не стільки тієї фактичної інформації (даних і знань), яка являє собою вміст ІДР галузі комп'ютерної графіки, а, в першу чергу – тих численних статичних і динамічних метаданих і метазнань (МДЗ), які пов'язані з зазначеними ІДР та їх оптимальним використанням.

Визначальна частка метаданих і метазнань, які стосуються ІДР комп'ютерної графіки, має всебічно характеризувати їх із точки зору організаційного та інформаційного статусу, моделей будови та функціонування, вмісту та інформаційної інфраструктури, технологій їх найдоцільнішого вибору, технологій оптимальної взаємодії з ними та їх інформаційним наповненням під кутом зору максимального наближення їх до користувачів (відповідного посилення рівня доступності, прозорості, комфортності їх для користувачів тощо).

Особливу актуальність мають МДЗ, які характеризують (за фактом наявності та за результатами моделювання) окремо виділені аспекти даних і знань, які містять ІДР галузі комп'ютерної графіки, в рамках наступних форматів розгляду:

– інтелектуальні моделі-профілі характеристик інформаційних властивостей зазначених даних і знань;

– інтелектуальні моделі оптимального багатокритеріального вибору існуючих і генерації нових інтегрованих методів і технологій роботи з зазначеними даними та знаннями, а також із технічними засобами їх подання та адміністрування, доступу до них і взаємодії з ними.

Метадані та метазнання, пов'язані з ІДР галузі комп'ютерної графіки, повинні акумулюватися в ректованій АІС наступними способами:

– потокове надходження до АІС у режимі реального часу та накопичування в ній існуючих (зовнішніх щодо АІС) експертних МДЗ у підсумку їх збирання та вхідної експертної обробки, фільтрації та оптимізаційної модифікації, аналізу, ранжирування, збереження в системі тощо, згідно з попередньо закладеними до АІС моделями та методами;

– генерація похідних метазнань на основі наявної в АІС бази метазнань у режимі самонавчання;

– моделювання нових метазнань у режимі діалогової взаємодії з експертами та користувачами, з задіянням апроксимаційних напівевристичних і прогностичних (ретроспективних і перспективних) підходів, ситуаційних моделей, методів співставлення з об'єктами динамічних бібліотек типових зразків-шаблонів і моделей-прототипів тощо.

Згідно з окресленими вище загальними концепціями, початково для АІС з комп'ютерної графіки було визначено ключові напрямки формування наступних підсистем нижнього рівня формалізації інформації:

– баз даних, які містять визначальні категорії відомостей щодо змістовної та технологічної характеристичних складових ІДР зазначеної галузі знань;

– інформаційних підсистем, які дозволяють здійснювати на основі відомостей із указаних баз даних інтегруючі, оброблювальні, інформаційно-довідкові та інформаційно-пошукові функції.

До складу інформаційної підсистеми 1 (ІП-1) входить комплекс баз даних, засобів формування та обробки, а також інструментарію візуального подання для каталогізованих анотованих переліків найменувань наявних ІДР комп'ютерної графіки, додатково супроводжених мінімізованими за обсягом і смисловим навантаженням спеціалізованими коментарями (першорядними відомостями про ІДР комп'ютерної графіки, що необхідні для оперативного доступу до потрібних ІДР, представленими в форматі максимально лаконічних і чітких описів та алгоритмічних інструкцій).

Бази даних ІП-1 містять в якості визначальних інформаційних складових наступні категорії відомостей стосовно ІДР комп'ютерної графіки: найменування; категорії статусу; категорії галузей застосування та користувачів; базові режими, сценарії та технологічні особливості доступу та взаємодії.

Каталогізація переліків найменувань ІП-1 здійснюється одноразово на початковому етапі формування підсистеми та надалі уточнюється в режимі реального часу, за наступними ознаками: за абеткою; за тематичним охопленням; за статусним рангом; за можливостями доступу та взаємодії; за можливостями застосування.

До складу інформаційної підсистеми 2 (ІП-2) входить комплекс баз даних, СУБД та спеціалізованого інструментарію їх адміністрування, що є основою для функціонування інформаційно-довідкової та інформаційно-пошукової систем, призначених для отримання розгорнутих відомостей про ІДР комп'ютерної графіки.

Бази даних ІП-2 містять наступні категорії відомостей стосовно ІДР комп'ютерної графіки:

– відомості, що вичерпно характеризують визначальний і додатковий смисловий зміст ІДР;

– характеристику якості інформаційного вмісту, цільових споживчих якостей, технічних і технологічних параметрів ІДР;

– деталізовані відомості, що характеризують специфіку доступу до ІДР і взаємодії з ними;

– розгорнуті відомості про технології здійснення оперативного та надійного доступу до ІДР (зокрема, мережного дистанційного доступу) та критерії оптимального вибору зазначених технологій;

– розгорнуті відомості про технології ефективного та ергономічного доступу та взаємодії з ІДР, згідно з заданими користувачами вимогами, та критерії оптимального вибору зазначених технологій.

Інформаційна підсистема 3 (ІП-3) містить комплекс баз даних, засобів управління ними та спеціалізованого інструментарію їх адміністрування, на основі яких здійснюється формування ієрархічних інформаційних структур ІДР комп'ютерної графіки та виконання відносно зазначених структур дій форматування (зокрема, подання в гіпертекстовому форматі), навігації, цільової ідентифікації та позиціонування, фільтрації, візуалізації тощо.

Інформаційна підсистема 4 (ІП-4) містить комплекс баз даних, СУБД, спеціалізованого інструментарію їх адміністрування та проблемно-орієнтованих програмних надбудов (інформаційно-довідкових та інформаційно-пошукових систем), призначених для надання ефективного та комфортного доступу до інформаційного наповнення ІДР комп'ютерної графіки в його повнотекстовому варіанті, а також для локалізації зберігання базової складової зазначеного інформаційного наповнення.

Інформаційна підсистема 5 (ІП-5) містить: банк ілюстрованого мультимедійного та гіпермедійного контенту, пов'язаного з теоретичними та прикладними аспектами комп'ютерної графіки; інструментальне середовище, що підтримує можливість створення базових категорій форм подання зазначеного мультимедійного та гіпермедійного контенту користувачам, таких як енциклопедії, словники, довідники, словники-довідники, каталоги, альманахи, фото/відеогалереї, прес-релізи, презентації, навчальні курси, комбіноване подання тощо.

В ІП-5 інформаційні технології мультимедіа та гіпермедіа використовуються для формування ілюстрованих, статичних та анімованих 2D/3D-матеріалів і фото/відеоматеріалів, упорядкованих за тематикою та абеткою (з наявністю відповідних покажчиків), з наданням можливості легкого відокремлення мономедійних складових мультимедійного контенту та, за

необхідності, уособленого їх виведення на засоби відображення.

На другому етапі, для АІС з комп'ютерної графіки було визначено ключові напрямки формування підсистем середнього рівня формалізації інформації.

Інформаційна підсистема 6 (ІП-6) містить наступні інструментальні засоби, що відповідають окресленим вище концепціям: бази метаданих і метазнань з ІДР комп'ютерної графіки; систему управління зазначеними базами метаданих і метазнань (СУБМДЗ); експертну систему для здійснення на основі моделей і методів штучного інтелекту процесів акумуляції та інтеграції в рамках єдиної АІС існуючих МДЗ, їх аналізу та генерації нових МДЗ.

Інформаційна підсистема 7 (ІП-7) надає сукупність інтелектуальних Інтернет-агентів, побудованих за технологією експертних систем і призначених для виконання в режимі реального часу моніторингу (переважно – пошуку та збирання), фільтрації, аналізу та логічної продукції нових МДЗ, які формують початкову метаінформацію для підсистеми ІП-6.

Інформаційна підсистема 8 (ІП-8) містить інструментальні засоби для формування та зберігання статичних і динамічних інтерактивних моделей-профілів інформаційних потреб (ІП) та інформаційних запитів (ІЗ) користувачів АІС з ІДР комп'ютерної графіки.

На третьому етапі, для АІС з комп'ютерної графіки було визначено ключові напрямки формування підсистем верхнього рівня формалізації інформації.

Інформаційна підсистема 9 (ІП-9) містить в якості ключового компоненту Web-сайт із підпорядкованими йому інформаційними базами, основним функціональним призначенням якого є надання в режимі реального часу продуктивного та зручного інформаційно-аналітичного сервісу для Інтернет-спільноти користувачів ІДР з комп'ютерної графіки.

Інформаційна підсистема 10 (ІП-10) є засобом інтеграції, організаційного впорядковування, централізованого автоматизованого управління та адміністрування модулів ІП-1, ... , ІП-9.

У цілому, АІС з комп'ютерної графіки, представлена інформаційними підсистемами ІП-1, ..., ІП-10, має забезпечувати максимально ефективну роботу одночасно за багатьма критеріями (а саме, бути оптимальною в сенсі злагодженості, оперативності, мобільності, надійності, безпечності, стабільності, ергономічності, комфортності, адаптивності, економічної доцільності, гарної організаційної виваженості та продуктивності).

Відповідно до вище сказаного, в основу побудови АІС з комп'ютерної графіки має бути покладено виключно ті сучасні інструментальні засоби інформаційних технологій операційних систем, баз даних, баз знань, експертних систем, мультимедіа та гіпермедіа, Web-проектування (візуального проектування, програмування, дизайну) тощо, які мають не тільки однозначні комплексні переваги, а й серйозний потенціал розитку та практичного впровадження на тривалу перспективу.

Серед інструментальних засобів прогресивних інформаційних технологій, які належать до зазначеної категорії, слід окремо виділити: операційну систему Linux та її редакції для мобільних пристроїв; системні та прикладні програмні засоби для ОС Linux, які належать до категорії freeware; програмну платформу .NET та інструментальні засоби на її основі (програмну систему Visual Studio та т.і.); мови Web-проектування Java, JavaScript і PHP; мову штучного інтелекту Visual Prolog; систему автоматизацованого проектування науково-технічних задач MatLAB тощо [1-5, 23-29].

Внесок авторів у виконану роботу є наступним: загальна постановка, базові концепції та методи розв'язування задачі – доц. Веселовська Г.В.; деталізована реалізація концепцій і методів – ст. викладач Кибалко І.І. та студент Чеклін А.Д. (у рамках науково-дослідної роботи студентів, під час навчання на 3-5 курсах у 2008/09-2010/11 навч. роках).

Перший етап апробації результатів виконаних авторами досліджень і розробок було успішно здійснено на кафедрі інформаційних технологій факультету кібернетики Херсонського національного технічного університету в рамках планової тематики держбюджетної кафедральної наукової роботи, в застосуванні до наступних видів навчальної діяльності:

– викладання ряду фахових дисциплін базової галузі знань "Інформатика та обчислювальна техніка", пов'язаних із теоретичним вивченням і практичним опановуванням комп'ютерної графіки та її окремих аспектів;

– базових етапів дипломного проектування бакалаврів, спеціалістів і магістрів, пов'язаних із активним застосуванням комп'ютерної графіки.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

Проаналізовано специфіку інформаційних джерел і ресурсів галузі комп'ютерної графіки та обгрунтовано актуальність проблеми вдосконалювання інструментальних засобів для організаційного впорядковування роботи з ними.

Запропоновано загальні концепції та методи застосування сучасних інформаційних технологій до вдосконалювання автоматизованих інформаційних систем з комп'ютерної графіки, що базуються на урахуванні специфіки даної галузі знань на поточному етапі її розвитку.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в постановці задачі (формулюванні загальної концепції) на розробку та створенні концепцій і методів вдосконалювання автоматизованих інформаційних систем з комп'ютерної графіки, націлених на вирішення актуальної проблеми інтеграції в рамках єдиної системи метаданих і метазнань з інформаційних джерел і ресурсів зазначеної предметної галузі.

Завдяки впровадженню результатів першого етапу досліджень і розробок авторів у навчальний процес кафедри ІТ ХНТУ, на 10% покращено інформаційну підтримку ряду фахових дисциплін та ключових етапів виконання кваліфікаційних випускних робіт і дипломних проектів.

У цілому, в даній статті: представлено в узагальненому вигляді нові концепції та методи, що вирішують завдання вдосконалювання автоматизованих інформаційних систем з комп'ютерної графіки на основі підвищеного рівня інтегрованості в них метаінформації про інформаційні джерела та ресурси зазначеної галузі знань; висвітлене питання про фактично виконану апробацію здійснених розробок.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Информатика. Базовый курс / Под ред. С.В. Симоновича. – СПб.: Питер, 2010. – 640 с.
2. Симонович С.В. Общая информатика. Новое издание. – СПб.: Питер, 2008. – 428 с.
3. Розенфильд Л., Морвиль П. Информационная архитектура в Интернете. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2009. – 544 с.
4. Десять лет третьего тысячелетия: ключевые события *IT*-индустрии/ *CHIP. Go Digital* (журнал информационных технологий). – К.: ДП "Бурда-Украина", 2011. – № 1. – С.50-52.
5. Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2009. – 272 с.
6. Михайленко В.Є., Ванін В.В., Ковальов С.М. Інженерна та комп'ютерна графіка: Підручник / За ред. В.Є. Михайленка. – К.: Каравела, 2010. – 360 с.
7. Сиденко Л.А. Компьютерная графика и геометрическое моделирование: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2009. – 224 с.: ил. – (Серия "Учебное пособие").
8. Веселовська Г.В., Ходаков В.Є., Веселовський В.М. Комп'ютерна графіка. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів/ Під ред. В.Є.Ходакова. – Херсон: "Олді-плюс", 2008. – 584 с.
9. Розенсон И.А. Основы теории дизайна: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2008. – 219 с.
10. Ларченко Д.А., Келле-Пелле А.В. Интерьер: дизайн и компьютерное моделирование. – СПб.: Питер, 2008. – 478 с.
11. Абраш М. Таинства программирования графики. – К.: ЕвроСИБ, 2010. – 512 с.
12. Браун Д.М. Разработка веб-сайта. Взаимодействие с заказчиком, дизайнером и программистом. – СПб.: Питер, 2009. – 336 с.
13. Нильсен Я., Лоранжер Х. Web-дизайн: удобство использования Web-сайтов. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2009. – 352 с.
14. Гусев В. Аналитика Web-сайтов: использование аналитических инструментов для продвижения в Интернет. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2009. – 464 с.
15. Кошик А. Веб-аналитика: анализ информации о посетителях веб-сайтов: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2009. – 464 с.
16. Смоленцев Н. MATLAB: программирование на Visual C#, Borland JBuilder, VBA: Учебный курс. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2009. – 464 с.
17. Веселовська Г.В. Розробка концепцій і моделей підвищування ефективності взаємодії з інформаційними джерелами в процесі самостійної й індивідуальної роботи користувачів систем комп'ютерного навчання// Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2009. – №3 (36). – С. 30-34.
18. Веселовська Г.В., Чеклін А.Д., Кибалко І.І. Розробка концепцій і моделей інтенсифікації викладання студентам вищого навчального закладу фахових дисциплін галузі знань "Інформатика та обчислювальна техніка" на основі використання прогресивних інформаційних технологій навчання// Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2011. – №2 (41). – С. 284-288.
19. Веселовська Г.В., Чеклін А.Д., Кибалко І.І. Моделювання удосконалених технологій взаємодії з інформаційними ресурсами галузі інформатики та обчислювальної техніки // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2011. – № 4 (43). – С.100-104.

20. Веселовська Г.В., Чеклін А.Д., Кибалко І.І. Методи та інформаційні технології оптимізації взаємодії користувачів із електронними інформаційними ресурсами галузі знань "Інформатика та обчислювальна техніка" // Проблеми інформаційних технологій. – 2011. – № 1 (009). – С.131-137.
21. Веселовська Г.В., Чеклін А.Д., Кибалко І.І. Методи та інформаційні технології аналізу ефективності взаємодії користувачів із електронними інформаційними ресурсами з динамічно змінюваним контентом // Проблеми інформаційних технологій. – 2011. – № 2 (010). – С.77-82.
22. Веселовська Г.В., Чеклін А.Д., Кибалко І.І. Концепції застосування інформаційних технологій до удосконалювання управління формуванням мотиваційної складової навчання // Вісник ХНТУ. – 2012. – № 1(44). – С.389-394.
23. Макки А. Введение в .NET 4.0 и Visual Studio 2010 для профессионалов: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2010. – 416 с.
24. Сандерсон С. ASP .NET MVC Framework с примерами на C# для профессионалов: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2010. – 560 с.
25. Лотка Р. C# и CSLA .NET Framework: разработка бизнес-объектов: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2010. – 816 с.
26. Мак-Дональд М., Шпушта М. Microsoft ASP .NET 3.5 с примерами на C# 2008 и Silverlight 2 для профессионалов. 3-е изд.: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2009. – 1408 с.
27. Мак-Дональд М. Silverlight 3 с примерами на C# для профессионалов: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2010. – 656 с.
28. Харинатх С., Кэрол М., Минакшисундарам С., Зар Р., Гуанг-Ю Ли Д. Microsoft SQL Server Analysis Services 2008 и MDX для профессионалов: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2010. – 1072 с.
29. Виейра Р. Программирование баз данных Microsoft SQL Server 2008. Базовый курс: Пер. с англ. – М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2010. – 816 с.

АЛГОРИТМ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СБИС

УДК 681.518:681.326.7

ИВАНОВ Дмитрий Евгеньевич

к.т.н., доцент, старший научный сотрудник института прикладной математики и механики НАН Украины.

Научные интересы: техническая диагностика, моделирование и тестирование цифровых устройств, генетические алгоритмы, эволюционные вычисления, параллельные алгоритмы.

e-mail: ivanov@iamm.ac.donetsk.ua

ВВЕДЕНИЕ

Диагностические алгоритмы моделирования относятся к алгоритмам моделирования с неисправностями. Однако, если обычно моделирование с неисправностями служит для определения полноты проверочных тестов (отношение числа проверенных неисправностей к общему числу рассматриваемых неисправностей), то диагностическое моделирования используется для определения свойства последовательностей относительно некоторых диагностических мер. Алгоритмы диагностического моделирования также являются важным компонентом систем генерации диагностических тестов.

Алгоритмы диагностического моделирования рассматриваются исследователями гораздо реже в сравнении с алгоритмами определения полноты тестов. Это связано с тем, что задача построения диагностических последовательностей имеет существенно большую сложность, чем задача построения проверяющих тестов. Проверяющие тесты определяют для каждой неисправности являются ли выходные реакции цифрового устройства (ЦУ) в её присутствии аналогичными исправному устройству. В противоположность им диагностический тест должен отличить поведение некоторого неисправного ЦУ не только от исправного, но и от всех других неисправных ЦУ. Сложность задачи построения диагностических последовательностей обуславливается применяемыми алгоритмами, которые в основе своей разработаны для автоматного уровня представления ЦУ [1-2], а впоследствии распространены на структурный.

В последнее десятилетие распространение получили методы построения идентифицирующих последовательностей (ИдП), которые основаны на моделировании. К ним относятся и эволюционные алгоритмы (ЭА) построения ИдП, в частности генетические алгоритмы (ГА) [3-4], либо алгоритмы симуляции отжига (СО) [5]. Особенностью таких алгоритмов является возможность работы с ЦУ достаточно большой размерности, которые на практике представлены сверхбольшими интегральными схемами (СБИС). Первоначально эволюционные алгоритмы разрабатывались для генерации проверяющих тестов, а позднее и для построения диагностических последовательностей. В частности в [6-8] описываются ГА построения диагностических тестов. В данных алгоритмах вычисление оценки потенциальных решений производится на основании диагностического моделирования ЦУ при подаче на его вход особи-последовательности. Данный алгоритм получает на вход некоторый класс неразличимых неисправностей. Его задача путём моделирования заданной последовательности на неисправностях данного класса определить: распадается ли данный класс на несколько других классов неразличимых неисправностей? При этом, если такого разбиения не произошло, алгоритм моделирования должен возвратить меру того, что заданная последовательность способна произвести такое разбиение на подклассы.

При построении автоматизированной системы генерации диагностических тестов [9], которая будет включать и соответствующий ЭА, важными являются два режима работы алгоритма диагностического моделирования. Первый режим используется итеративно для вычисления заданных диагностических мер для построенной входной последовательности. В случае, если не достигнут показатель качества, следует продолжить генерацию таких последовательностей. Второй режим используется в эволюционном (в частности, основанном на ГА) алгоритме генерации диагностических тестов, а его применение в данном контексте описано выше.

Цель данной статьи разработка метода диагностического моделирования, который предназначен для работы в соответствующей подсистеме системы моделирования и диагностики ASMID-Evolution [10], и который позволяет выполнять оценки качества заданной входной последовательности для двух указанных выше режимов работы.

ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МЕРЫ

В данной работе в качестве модели СБИС используются синхронные цифровые последовательностные устройства, заданные на логическом уровне [11]. В таких ЦУ выделяют комбинационную часть и элементы состояний, реализованные на основе D-триггеров. Моделирование поведения ЦУ осуществляется итеративным моделированием комбинационного эквивалента. В качестве моделей неисправностей мы рассматриваем одиночные константные неисправности «константа 0» и «константа 1». Однако без потери общности при реализации предлагаемый метод может быть распространён на другие типы неисправностей, для которых разработан соответствующий метод моделирования.

Дадим необходимые определения.

Определение 1. Пусть задано исправное ЦУ A_0 и класс неисправностей $F = \{f_1,...,f_n\}$, который соответственно порождает класс неисправных устройств $A = \{A_1,...,A_n\}$. Входная последовательность T, которая может отличить поведение произвольного устройства A_i от поведения исправного A_0, а также поведения всех остальных неисправных устройств, называется диагностической.

Определение 2. Для заданного ЦУ A и двух неисправностей f_1 и f_2 последовательность T называется различающей, если выходные реакции $A_1(T)$ и $A_2(T)$ различны хотя бы для одного входного вектора.

Определение 3. Все неисправности $f_1,...,f_n$, которые не различаются заданной входной последовательностью T для заданного ЦУ A, принадлежат к одному классу неразличимости F' относительно последовательности T.

Определение 4. Для заданного ЦУ A и заданного класса неисправностей $F = \{f_1,...,f_n\}$ последовательность T называется различающей, если существует хотя бы одна неисправность $f_j \in F$ такая, что $A_j(T) \neq A_i(T)$ (для $i = \overline{1,n}$ кроме $i = j$) хотя бы для одного входного вектора.

В соответствии с определением 4, если для некоторой неисправности $f_j \in F$ было обнаружено, что $Aj(T) \neq A_i(T)$ (для $i = \overline{1,n}$ кроме $i = j$), то она сразу будет образовывать новый класс неразличимых неисправностей. Однако выделение такого класса с одной неисправностью $F' = \{f_j\}$ в первый момент времени, когда обнаружено выполнение свойства определения 4, является неверным, поскольку при дальнейшем моделировании возможно выполнение данного условия для других неисправностей из F.

При построении алгоритма диагностического моделирования особое внимание следует уделить понимаю принципов построения диагностических мер. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

Для заданной входной последовательности $T = T_1T_2...T_m$ и множества неисправностей $F = \{f_1,...,f_n\}$ диагностические свойства могут быть представлены в виде матрицы выходных реакций Y. Данная матрица будет иметь размерность $(n+1) * m$:

$$Y = \begin{pmatrix} y_{01} & \cdots & y_{0m} \\ y_{11} & & y_{1m} \\ & & \\ y_{n1} & & y_{nm} \end{pmatrix}, \qquad (1)$$

где элементы первой строки y_{0j} показывают реакции исправного ЦУ A_0 после моделирования набора с индексом j, а все последующие – аналогичные реак-

ции ЦУ в присутствии соответствующих неисправностей. Поскольку обычно ЦУ имеют более одного выходного сигнала, то элемент матрицы y_{ij} является двоичным вектором с размерностью k, показывающей число внешних выходов ЦУ.

Наблюдение поведения ЦУ только по выходным значениям характерно для их автоматного задания. При обработке ЦУ на структурном уровне предполагается, что разработчику доступны аналогичные сведения об элементах состояний ЦУ, а также для множества контрольных точек, узлов и т.п. В этом случае диагностическая матрица вида (1) может быть расширена естественным образом за счёт увеличения разрядности элементов y_{ij}.

Для реально проектируемых ЦУ матрица выходных реакций в виде (1) явно не задаётся ввиду большой размерности, что требует для её хранения чрезмерных затрат памяти. Расширение же хранимой диагностической информации на множество узлов и элементов состояний ЦУ будет далее ухудшать ситуацию. Поэтому исследования ряда авторов направлены на сжатие матриц выходных сигналов и построение сжатых диагностических словарей [12-16].

Другой подход используется в [17-18]. Для обеспечения диагностической информации по результатам моделирования строится матрица различимости:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1m} \\ & \dots & \\ d_{n1} & \dots & d_{nm} \end{pmatrix}. \qquad (2)$$

Данная матрица имеет размерность $n*n$ (где n - число неисправностей в полном списке F). Элемент матрицы d_{ij} показывает:

$$d_{ij} = \begin{cases} 0, \textit{если выходные реакции} \\ \textit{А в присутствии неисправностей} \\ \textit{с номерами i и j одинаковы}; \\ 1, \textit{в противном случае.} \end{cases} \qquad (3)$$

Оба типа рассматриваемых матриц используются для вычисления диагностических мер заданных последовательностей. Рассмотрим основные используемые на практике диагностические меры.

Диагностическая мера, называемая диагностическая разрешимость, предложена в [19].

Определение 5. Диагностической разрешимостью (ДР) данной последовательности S относительно данного множества неисправностей F для заданного ЦУ A называется отношение числа различимых пар неисправностей в общему числу пар неисправностей:

$$ДР = \frac{число_различимых_пар_неисправностей}{общее_число_неисправностей}. \qquad (4)$$

Определение диагностической меры относительно пар различимых неисправностей ведёт к тому, что ряд алгоритмов диагностического моделирования основаны не на заполнении диагностической матрицы, а на моделировании пар всевозможных неисправностей из исходного множества F_0. Пример такого алгоритма разработан в [20].

Определение 6. Диагностической мощностью (ДМ) данной последовательности S относительно данного множества неисправностей F для заданного ЦУ A называется отношение числа полностью отличимых неисправностей к общему числу неисправностей:

$$ДМ = \frac{число_различимых_неисправностей}{общее_число_неисправностей}. \qquad (5)$$

Определение 7. Диагностическим покрытием (ДП) данной последовательности S относительно данного множества неисправностей F для заданного ЦУ A называется отношение числа групп неразличимых неисправностей к общему числу неисправностей:

$$ДП = \frac{число_групп_неразличимых_неисправностей}{общее_число_неиспранвостей}. \qquad (6)$$

Методы вычисления указанных диагностических мер с применением матрицы различимостей разрабатываются, например, в [21]. Временная сложность таких алгоритмов $O(n^2)$, что также с учётом размерности проектируемых ЦУ является достаточно большой. Для ускорения работы применяются различные подходы. Например, в [22] используются оптимизационные эвристические процедуры основанные на понятии z-диагностирования, тогда как в [23] используется аппаратный параллелизм.

В [24] предложена мера, которая определяет множества эквивалентных неисправностей относительно заданной тестовой последовательности S, т.е. показывает число классов неразличимых неисправностей мощности 1, 2 и т.д. В соответствии с данной мерой диагностические качества последовательности S относительно множества неисправностей F для заданного

ЦУ A показывает последовательность чисел $\{h_i\}$, в которой $i-é$ элемент показывает число классов неразличимости неисправностей мощности i. В такой интерпретации для диагностической последовательности S в идеальном случае (определение 1) длина последовательности числе $\{h_i\}$ будет равна 1, а элемент последовательности h_1 будет равен общему числу рассматриваемых неисправностей $n=|F|$, показывая, что поведение каждого неисправного ЦУ отличается от поведения всех остальных при моделировании на последовательности S.

В [17] эта мера ДП обобщена таким образом, чтобы учитывать значение неопределённого сигнала u из алфавита E_3 при моделировании поведения последовательностных ЦУ, которые начинают работу из полностью неопределённого состояния $Z=uu..u$. В том случае, если в присутствии одной неисправности f_i ЦУ порождает на выходе значение 0 из алфавита моделирования E_3, а в присутствии другой неисправности f_j на том же выходном контакте наблюдается значение $u\in E_3$, то в этом случае нельзя определённо говорить о различимости неисправностей f_i и f_j. На самом деле данное свойство различимости будет зависеть от начального состояния: для некоторых начальных состояний такие неисправности будут различимы, а для некоторых – нет. Однако гарантировать различимости неисправностей f_i и f_j нельзя. Поэтому делается предположение, что выходные значения 0 и $1\in Z_3$ неотличимы от значения $u\in Z_3$.

Очевидно, что методы вычисления диагностических метрик на основании заполнения матриц различимости являются достаточно медленными ввиду необходимости заполнения матриц большой размерности и дальнейшей их обработки.

В противоположность им предложены подходы [25], которые сразу по результатам моделирования текущего входного набора S_i обрабатывают списки неразличимых неисправностей без заполнения матриц различимости. Преимуществом таких подходов является то, что неисправности, которые образуют класс неразличимости мощности 1 сразу могут быть исключены из дальнейшего рассмотрения. Существенное улучшение временных характеристик метода при этом достигается за счёт исключения моделирования и операций сравнения с такими неисправностями. Требования к емкостным ресурсам в таком методе существенно снижаются за счёт того, что не происходит явного заполнения матрицы выходных реакций ЦУ. Необходимая информация о выходных реакциях используется ситуативно при обработке списков.

ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МЕРА В ЭВОЛЮЦИОННЫХ АЛГОРИТМА ПОСТРОЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ТЕСТОВ

Рассмотренные диагностические меры вычисляются для получения оценки качества диагностических последовательностей. С другой стороны, диагностическое моделирование используется также при построении таких последовательности с целью оценки качества потенциальных решений. В том случае, когда на вход алгоритма диагностического моделирования поступает множество F', которое не разбивается на меньшие заданной последовательностью S, такие меры ничего не скажут о качестве последовательности. Наиболее ценной информацией в данном случае было бы знать: насколько близко последовательность S подошла к тому, чтобы стать разбивающей для F'. Эта информация была бы очень полезной в ГА построения диагностических последовательностей. Для таких случаев в [6] вводится другая мера, которая также является оценочной функцией потенциального решения.

Сначала оценка вычисляется для каждого входного вектора, который входит в данную последовательность. Для класса неразличимости F_i и k-го вектора последовательности T_j данная функция имеет следующий вид:

$$E(T_j^k,F_i)=k_1\cdot\sum_{n=1}^{N_{mp}}R_n^1(T_j^k,F_i)+ +k_2\cdot\sum_{n=1}^{N_{вент}}R_n^2(T_j^k,F_i), \quad (7)$$

где:

- $R_n^1(T_j^k,F_i)$ – функция различия выходов триггеров;
- $R_n^2(T_j^k,F_i)$ – функция различия выходов вентилей;

- k_1 и k_2 – нормирующие коэффициенты, показывающие, что различия значений на выходах триггеров важнее различия на выходах элементов;
- $N_{òð}$ и $N_{âåíò}$ – число триггеров и выходов элементов в схеме соответственно.

Функции различия определяются следующим образом:

$$R_n^{\alpha}(T_j^k, F_i) = \begin{cases} 0, \textit{если выходы элементов} \\ \textit{с идексом } n, \textit{которые принадлежат} \\ \textit{классу } F_i, \textit{одинаковы} \\ \textit{после подачи набора } T_j^k; \\ 1, \textit{иначе}; \end{cases} \quad (8)$$

где $\alpha = 0{,}1$ для множества триггеров и выходов элементов схемы соответственно.

На основании оценки каждого вектора вычисляется оценочная функция всей входной последовательности, которая имеет вид:

$$E(T_j, F_i) = \max_k (E(T_j^k, F_i)). \quad (9)$$

Как видно из такого представления оценочной функции, диагностическая информация собирается не только по внешним выходам ЦУ, но и по множеству псевдовыходов. Смысл такого построения функции оценки в том, что если различия в поведении устройств на внешних выходах нет, то такое различие на псевдовыходах позволяет в дальнейшем распространить его на внешние выходы. Причём чем больше такое различие на псевдовыходах, тем скорее удастся распространить его на выходы ЦУ. Продолжая данную идею, можно в вид оценочной функции (1)-(3) добавить аналогичный член, который, например, будет соответствовать множеству контрольных точек, выбранных разработчиком.

ПРЕДЛАГАЕМЫЙ МЕТОД

Алгоритм диагностического моделирования может быть надстроен над алгоритмом моделирования ЦУ с неисправностями. Для этого в такой алгоритм необходимо добавить процедуры заполнения диагностической матрицы и вычисления диагностических метрик, либо обработчик списков неразличимых неисправностей.

Предлагаемый метод диагностического моделирования основывается на параллельном методе моделирования последовательностных ЦУ с неисправностями, который описан в [26]. В предлагаемом методе в качестве техники для вычисления диагностических мер будем использовать списки множеств неразличимых неисправностей. Алгоритм реализует моделирование поведения ЦУ в трёхзначном алфавите E_3.

В исходный алгоритм необходимо добавить процедуры работы со списками неисправностей. Пусть F' - текущий список, который содержит множества неразличимых неисправностей.

В первом режиме работы необходимо построение начального списка неразличимых неисправностей $F' = \{F_0\}$, где F_0 - полный список неисправностей ЦУ. Как и в исходном алгоритме моделирования с неисправностями данный список F_0 сжимается для исключения обработки эквивалентных неисправностей. Во втором режиме работы данный список F' передаётся из алгоритма построения диагностических тестов.

В обоих режимах работы после моделирования очередного входного набора на всех текущих списках неисправностей необходимо обновить списки неразличимых неисправностей F'. Это выполняется путём сравнения выходов неисправных ЦУ по каждому из множеств входящих в F'. Если такое различие обнаружено, то множество распадётся на подмножества неразличимых неисправностей. Техника такого разбиения списков неисправностей показана на рис. 1. Здесь моделирование выполняется для начального списка $F' = \{F_0\} = \{\{f_1, f_2, f_3, f_4, f5, f_6, f_7, f_8\}\}$ и входной последовательности $T = T_1 \ldots T_5$. Результатом являются 6 множеств, содержащих по одной неисправности: $F_3 = \{f_1\}$, $F_7 = \{f_2\}$, $F_8 = \{f_7\}$, $F_9 = \{f_8\}$, $F_{10} = \{f_3\}$, $F_{11} = \{f_6\}$, а также множество $F' = \{F_4\} = \{\{f_4, f_5\}\}$, содержащее в свою очередь одно множество F_4 мощности два.

Для второго режима работы в составе эволюционного алгоритма построения диагностических последовательностей возможно два случая. В первом случае для входного множества F' произошло разбиение на подмножества (как в примере выше). В этом случае на верхний уровень будет передан соответствующий признак, а также списки множеств мощности один и список F', соответствующий моменту окончания моделиро-

вания. Такая ситуация характерна для начального этапа работы генератора диагностических тестов.

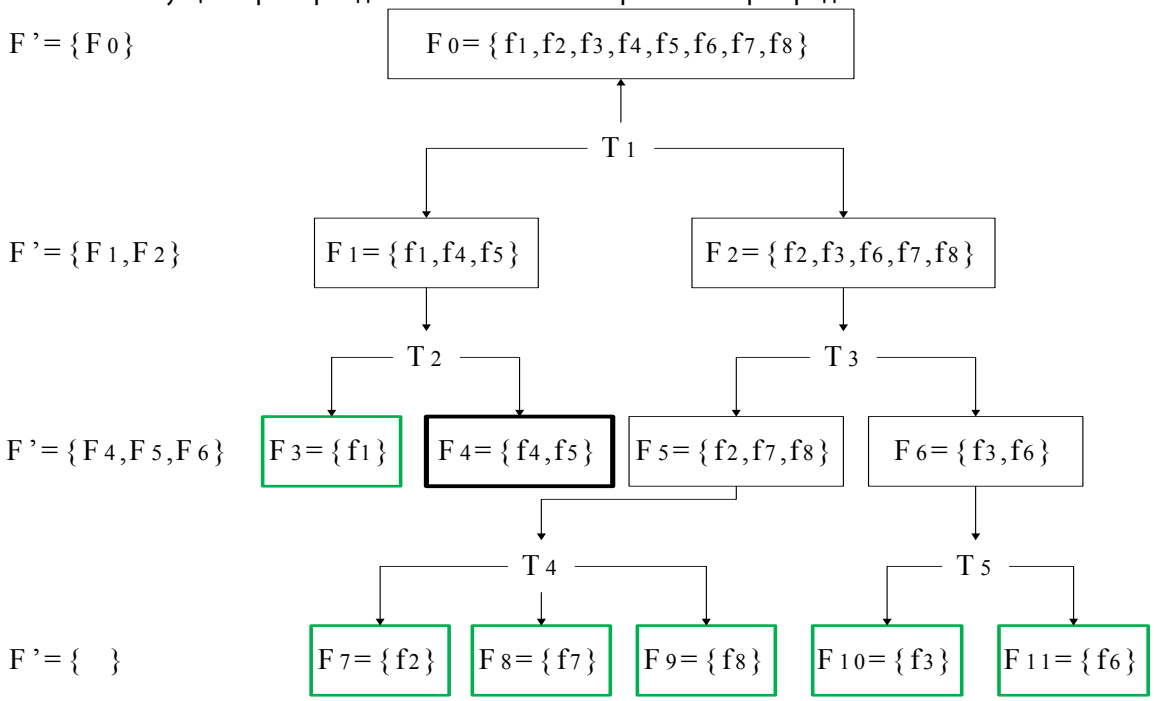


Рисунок 1 –Пример разбиения списка неразличимых неисправностей в процессе моделирования

Во втором случае разбиения F' не происходит. Тогда для F' по результатам моделирования вычисляется мера (9), которая передаётся в качестве результата на верхний уровень для принятия решения.

Также для первого режима работы после окончания моделирования на основании полученных списков неисправностей происходит вычисление метрик (4)-(6).

Алгоритмическая реализация описанного метода в виде псевдокода приведена ниже.

Алгоритм А1.

```
Диагностическое_моделирование( A , F' , T )
{
  if( режим == 1 )
  {
    F' =ПостроениеСпискаНеисправностей();
  }
  // цикл по входным наборам
  for( int i=0 ; i<Длина( T ) ; i++ )
  {
    Набор= T_i ;
    SVI=МоделироватьИсправнуюСхему( A , Набор);
    // цикл по множествам неразличимых неисправностей
    for( int j=0 ; j<|F'| ; j++ )
    {
      F_j = F'[j];
      while( есть непроверенные неисправности в F_j );
      {
        Группа=СформироватьГруппуНеисправностей( СписокНеисправностей);
        МоделироватьНеисправныеСхемыГруппы( A , Набор, Группа);
        СохранитьСостоянияДляНепроверенныхНеисправностей(SVI, Группа);
      }// конец цикла по неисправностям в множестве
      ПроверитьРазличимость();
      СформироватьНовыеМножества( F' , F_j );
```

```
          УдалениеМножествМощностиОдин(F');
          if( режим == 2 )
          {
            ВычислениеПромежуточнойМеры();
          }
        }  // конец цикла по множествам неразличимых неисправностей
      }     // конец цикла по входным наборам
      Мера=ВычислениеДиагностическихМер();
      return (F', Мера);
    }       // конец алгоритма диагностического моделирования
```

В данном алгоритме выполняется моделирование всех неразличимых групп неисправностей для каждого входного набора заданной последовательности T. Моделирование неисправных ЦУ из одного множества неразличимых неисправностей $F_j \in F'$ выполняется параллельно в разрядах машинного слова. Такой подход соответствует базовому алгоритму [26]. После того как выполнено моделирование всех неисправностей из множества F_j производится сравнение их выходных реакций в функции *«ПроверитьРазличимость()»*. По результатам этого сравнения в функции *«СформироватьНовыеМножества()»* при необходимости модифицируется список множеств неразличимых неисправностей F'. Если в результате будут обнаружены множества мощности один, то в функции *«УдалениеМножествМощностиОдин()»* они будут исключены из F', что предотвратит их дальнейшее рассмотрение.

Также для второго режима работы после моделирования очередного входного набора вычисляется промежуточная мера в виде (7).

Вычисление окончательных мер (4)-(6) или (9) в зависимости от режима работы выполняется после моделирования всей последовательности T в функции *«ВычислениеДиагностическихМер()»*.

Результатом работы алгоритма является новый список F' множеств неразличимых неисправностей и вычисленная диагностическая мера (в зависимости от режима работы).

В [27] предложен параллельный метод моделирования с неисправностями, основанный на алгоритме [26], который предназначен для работы на многоядерных рабочих станциях. Фактически, данный метод является параллельной версией базового алгоритма данной работы для многопроцессорных ВС с общей памятью. В данном методе выполняется параллельное моделирование нескольких групп неисправностей для текущего входного набора, причём каждая такая группа моделируется независимо на своём вычислительном ядре. Очевидно, что подобная техника параллельного моделирования также может быть распространена на предлагаемый метод диагностического моделирования. При этом на отдельном узле следует выполнять параллельное по разрядам моделирование неисправностей из одной группы неразличимых неисправностей F_j Разработка такой параллельной версии метода является ближайшей задачей авторов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан алгоритм диагностического моделирования, который для повышения гибкости использования поддерживает два режима работы. В первом режиме для заданной входной последовательности происходит вычисление известных метрик, показывающих её диагностические свойства. Второй режим работы используется в эволюционном алгоритме построения диагностических тестов и вычисляет заданную метрику относительно заданного множества неразличимых неисправностей. Совмещение двух данных режимов в одном алгоритме позволяет эффективно использовать его в качестве ядра при построении автоматизированной системы диагностического моделирования.

В качестве дальнейших исследований можно отметить построение параллельной версии данного метода для многоядерных рабочих станций. Также перспективным является построение автоматизированной диагностической системы, основой которой являются генератор диагностических тестов и программа диагностического моделирования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов /А. Гилл. – М.: Наука, 1966. – 272 с.

2. Грунский И.С. Синтез и идентификация автоматов /Грунский И.С., Козловский В.А. – К.: Наукова думка, 2004. – 245 с.
3. Скобцов Ю.А. Основы эволюционных вычислений /Ю.А. Скобцов. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – 326 с.
4. Goldberg D.E. Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning /D.E. Goldberg. – Boston, MA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., 1989. – 412 p.
5. Kirkpatrick S. Optimization by simulating annealing /S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt, M.P. Vecchi //Science, 1983. – V.220. – P.671-680.
6. Corno F. GARDA: a Diagnostic ATPG for Large Synchronous Sequential Circuits /F. Corno, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda //Proc. of IEEE European Design and Test Conference, Paris, March 1999, pp.267-271.
7. Иванов Д.Е. Генетический алгоритм построения диагностических последовательностей цифровых устройств /Д.Е. Иванов //Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В. Даля. – 2010. – №10 (152). – С.72-79.
8. Борисевич А.В. Генетический алгоритм для построения диагностического теста сложных цифровых схем /А.В. Борисевич, Р.О. Берзин //Вестник СевГТУ: «Информатика, электроника, связь». – 2006. – Вып. 74. – С.91-96.
9. Zhang Yu. A Diagnostic Test Generation System and a Coverage Metric /Yu Zhang, V.D. Agrawal //Proc. of Int. Test Conf., May 2010. – Pp. 1-9.
10. Иванов Д.Е. Автоматизированная система моделирования и идентификации цифровых устройств АСМИД- Evolution /Д.Е. Иванов //Проблемы информационных технологий. – 2011. – №1 (009). – С.114-124.
11. Скобцов Ю.А. Логическое моделирование и тестирование цифровых устройств /Ю.А. Скобцов, В.Ю. Скобцов. – Донецк: ИПММ НАНУ, ДонНТУ, 2005. – 436 с.
12. Chess B. Creating Small Fault Dictionaries /B. Chess, T. Larrabee //IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, Mar. 1980. – Pp.346-356.
13. Lavo D. Making Cause-Effect Cost Effective: Low-resolution Fault Dictionaries /D. Lavo, T. Larrabee //in Proc. International Test Conf., 2001. – Pp.278-286.
14. Pomeranz I. On the Generation of Small Dictionaries for Fault Location /I. Pomeranz, S.M. Reddy //Proc. Intl. Conf. Computer-Aided Design, 1992. – Pp.272-278.
15. Миронов С. В. Генетические алгоритмы для сокращения диагностической информации /С.В. Миронов, Д.В. Сперанский //Автоматика и телемеханика. – 2008. – №7. – С.146-156.
16. Arslan B. Fault dictionary size reduction through test response superposition /B. Arslan, A. Orailoglu //Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Computer Design: VLSI in Computers (ICCD'02), 2002. – Pp.480-485.
17. Rudnick, E.M. Diagnostic Fault Simulation of Sequential Circuits /E.M. Rudnick, W.L. Fuchs, J.H. Patel //Proc. of International Test Conference, 20-24 Sep. 1992. – Pp.178-186.
18. Bodoh D. Diagnostic Fault Simulation for the Failure Analyst /D. Bodoh, A. Blakely, T. Garyet //Conference Proceedings from the 30th International Symposium for Testing and Failure Analysis (ASM International), Oct. 2004. – Pp.181-190.
19. Camurati P. Diagnosis Oriented Test Pattern Generation /P. Camurati, A. Lioy, P. Prineto, M. Sonza Reorda //Proc. European Design Automation Conf., March 1990. – Pp.470-474.
20. Jou J.-M. A fast and memory-efficient diagnostic fault simulation for sequential circuits /J.-M. Jou, S.-C. Chen //Proceedings of the 1994 IEEE/ACM international conference on Computer-aided design. – IEEE Computer Society Press Los Alamitos, CA, USA, 1994. – Pp.723-726.
21. Chen S.-C. Serial diagnostic fault simulation for synchronous sequential circuits /S.-C. Chen, J.-M. Jou //Integration, the VLSI journal. – Vol. 23. – 1997. – Pp.157-170.
22. Seshadri D. Accelerating diagnostic fault simulation using z-diagnosis and concurrent equivalence identification //B. Seshadri, S. Venkataraman //Proceedings of 24th IEEE VLSI Test Symposium, April 30, 2006. – Pp.385-390.
23. Michael L. High-Performance Diagnostic Fault Simulation on GPUs /M.L. Michael, S. Hsiao //Proceedings of the 2011 Sixteenth IEEE European Test Symposium.- IEEE Computer Society Washington, DC, USA. – 2011. – Pp.210.
24. Kubiak K. Exact Evaluation of Diagnostic Test Resolution /K. Kubiak, S. Parkes, W.K. Fuchs, R. Saleh //Proc. 29th Design Automation Conf., June1992. – Pp.347-352.
25. Venkataraman S. Rapid Diagnostic Fault simulation of Stuck-at Faults in Sequential Circuits using Compact List /S. Venkataraman, I. Hartanto, W.K. Fuchs, E.M. Rudnick, S. Chakravarty, J.H. Patel //Proc. Design Automation Conf., June 1995. – Pp.133-138.
26. Иванов Д.Е. Параллельное моделирование неисправностей для последовательностных схем /Д.Е. Иванов, Ю.А. Скобцов //Искусственный интеллект. – 1999. – №1. – С.44-50.
27. Иванов Д.Е. Параллельный алгоритм моделирования цифровых схем с неисправностями для многоядерных систем с общей памятью /Д.Е. Иванов //Электронное моделирование. – 2011. – Т.33, №1. – С.93-106.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЧАСТОТНОЇ СМУГИ ПРИ ФОРМУВАННІ ШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ В РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

УДК 681.325

КОЗЛЕНКО Микола Іванович
к.т.н., доцент кафедри комп'ютерної
та програмної інженерії ПВНЗ «Галицька академія».
Наукові інтереси: цифрове формування та опрацювання сигналів,
спеціалізовані комп'ютерні системи, робототехніка.
e-mail: kozlenkomykola@ukr.net

ВСТУП

В сьогоднішньому світі важко уявити будь-яку сферу діяльності де б не знайшлось місце для застосування інформаційних технологій, яке відкриває якісно нові горизонти для прогресу. Сучасний розвиток інформаційних технологій супроводжується швидким зростанням обсягів передачі інформації і вимагає інтенсивного вдосконалення та покращення характеристик каналів зв'язку. З іншого боку, сучасні інформаційні технології використовуються при моделюванні методів реалізації комунікацій, аналізі характеристик каналів зв'язку, проектуванні каналоутворюючого обладнання. Широке використання бездротових інформаційно-комунікаційних технологій при побудові розподілених комп'ютерних та телекомунікаційних систем та мереж промислового призначення, які функціонують в умовах інтенсивних завад природного та техногенного походження, визначає необхідність пошуку нових рішень на методичному, структурному та алгоритмічному рівнях при створенні цифрових засобів реалізації комунікацій. Суттєвого покращення якості можна досягти застосуванням широкосмугових сигналів. Традиційно забезпечення високої достовірності обміну даними в комунікаційних каналах ґрунтується на методах формування та оброблення широкосмугових сигналів з великою базою, при цьому найширше застосування отримали засоби реалізовані на основі формування дискретних псевдовипадкових послідовностей та кореляційного опрацювання сигналів. Проте згадані технології мають низку недоліків, які обмежують їх практичну реалізацію, пов'язану з необхідністю застосування складних апаратних та алгоритмічних методів формування псевдовипадкових послідовностей, необхідністю зберігання еталонів сигналів в пристроях оброблення, використанням складних алгоритмів кореляційного опрацювання та переважним використанням неоптимальних методів оброблення гармонійних сигналів-носіїв. При цьому, як правило, в якості маніпульованих ознак таких сигналів використовують амплітуду, частоту, фазу або комбінації цих ознак.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ В ЦІЛОМУ

Необхідність у якісному та швидкому обміні даними при реалізації інформаційних технологій на основі розподілених комп'ютерних та телекомунікаційних систем зумовлює практичне завдання по створенню простих, надійних та недорогих приймально-передавальних каналоутворюючих пристроїв. Результативне вирішення цього завдання можливе за умови успішного розв'язання наукових проблем створення та розвитку нових ефективних методів передавання та приймання інформації в таких системах, зокрема, методів формування та опрацювання широкосмугових сигналів.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

Традиційні методи (DSSS, FHSS) формування широкосмугових сигналів описані в роботах [1-3]. Методи формування надширокосмугових сигналів (UWB) описані в роботах [4, 5]. Використання явищ детермінованого динамічного хаосу для цілей формування та оброблення сигналів описано в працях [6, 7]. В роботах [8, 9] запропоновано новий метод формування та опрацювання широкосмугових шумоподібних сигналів з керованою ентропією де значення ентропії розподілу амплітуд сформованого випадкового сигналу ставиться у відповідність до символів вихідного інформаційного повідомлення. Це дає можливість використовувати ентропію для ідентифікації символів повідомлення і не вимагає використання складних алгоритмів генерування псевдовипадкових послідовностей для розширення спектру сигналів. Опрацювання таких широкосмугових сигналів ґрунтується на статистичному оцінюванні значень ентропії відповідних фрагментів суміші сигналу та завад (символьних інтервалів) з подальшим ухваленням рішення про дискретне значення символу повідомлення, що на відміну від кореляційних методів не потребує зберігання еталонів форми оброблюваних сигналів. Слід підкреслити, що в цьому методі використовується ентропія сигналу-носія, а не інформаційна ентропія самого повідомлення. На даний час проведено дослідження впливу завад, що діють у каналі, на такі сигнали [10]. Оцінена завадостійкість методу. Проведено порівняння часової складності реалізації методу у порівнянні з класичним кореляційним опрацюванням сигналів. Раніше невирішеною частиною загальної проблеми, що не роглядалась раніше, є питання ефективності використання частотного ресурсу такими сигналами, саме цьому і присвячена дана робота.

Формулювання цілей даної роботи. Отже, об'єктом дослідження є ефективність використання частотного ресурсу при формуванні широкосмугових сигналів з керованою ентропією. Основною метою роботи є розроблення програмного забезпечення для оцінки рівномірності спектрального складу широкосмугових сигналів та отримання кількісних показників для сигналів з керованою ентропією і їх порівняння з класичними традиційними підходами.

ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ

При формування широсмугових сигналів має місце суттєва нерівномірність розподілу енергії сигналу за частотами. Отже, різні способи формування широкосмугових сигналів характеризуються різною ефективністю використання частотного ресурсу. Тому існує необхідність дослідження цього параметру та створення нових методів та засобів формування широсмугових сигналів з покращеними частотними характеристиками.

Дослідження проведено шляхом моделювання в обчислювальньному експерименті за допомогою спеціально розробленого у середовище MATLAB 6.5 [11] програмного забезпечення. MATLAB це пакет прикладних програм призначений для здійснення технічних обчислень. Має вбудовану інтерпретовану мову програмування та середовище розроблення. Працює з матричними структурами даних. Містить широкий спектр готових функцій. Має об'єктно-орієнтовані можливості і інтерфейси з програмним забезпеченням, реалізованим іншими мовами програмування. Існують версії для більшості сучасних операційних систем. Основною перевагою є оптимізована робота з матрицями.

Для імпорту досліджуваних сигналів у середовище та перетворення їх у вектори слід використати вбудований інтерфейс uiimport, який дозволяє працювати з широким спектром файлів, зокрема WAV та TXT форматів.

Частотний спектральний аналіз [12] сформованих широкосмугових сигналів проведено у відповідності до перетворення Фур'є (1), шляхом розрахунку дискретного перетворення [13] за формулою (2) з подальшим розрахунком спектральної щільності енергії.

$$S_x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\exp(-j2\pi ft)dt, \qquad (1)$$

де $S_x(f)$ – комплексна спектральна щільність амплітуд, В/Гц

$x(t)$ – досліджуваний сигнал,

f – частота, Гц

t – час, с.

$$S_x(k\cdot F) = T_s \cdot \sum_{n=0}^{N-1} x(n\cdot T_s)\exp(-j2\pi nk/N), \qquad (2)$$

де $S_x(kF)$ – дискретизована щільність амплітуд сигналу, В/Гц

$x(\mathrm{n}T_s)$ – дискретизований досліджуваний сигнал, В

N – кількість відліків сигналу

T_s – інтервал дискретизації в часі, $T_s = 1/f_s$, с

f_s – частота дискретизації, Гц

k – частотний індекс, $\mathrm{k} = 0,1,...,\mathrm{N}-1$,

n – часовий індекс, $\mathrm{n} = 0,1,...,\mathrm{N}-1$.

Інтервал дискретизації за частотою складає величину $F = 1/\mathrm{N}T_s$ Гц, або $\Omega = 2\pi/\mathrm{N}T_s$ рад/с. Спектральна щільність енергії $\Psi_x(f) = |\mathrm{S}_x(f)|^2$ визначається в дискретизованому вигляді на частотах $\mathrm{k}F$ як $\Psi_x(\mathrm{k}F) = |\mathrm{S}_x(\mathrm{k}F)|^2$, а значення повної енергії $E_x = \int_{-\infty}^{+\infty} \Psi_x(f)df$ сигналу можна отримати через дискретні значення як $E_x = \frac{1}{\mathrm{N}T_s}\sum_{\mathrm{k}=0}^{\mathrm{N}-1}|\mathrm{S}_x(\mathrm{k}F)|^2$.

MATLAB має вбудовану функцію `fft(A)`, яка реалізує дискретне перетворення Фур'є вектора A. Результатом її роботи є спектр амплітуд, у вигляді вектора комплексних чисел. Для зміщення елемента, що відповідає нульовій частоті в центр масиву слід використати вбудовану функцію `fftshift(A)`.

Для визначення спектральної щільності енергії і повної енергії сигналу розроблено наступна процедура, організована у вигляді m-файла:

```
A=filename.data; % для WAV-файлу
Fsam=filename.fs
T=1/Fsam
N=length(A);
F=1/(N*T)
A=(abs(T*fft(A))).^2;
A(N/2+2:N)=[];
A=A.*2;
Energy=sum(A)*F
```

Візуалізація отриманих результатів здійснюється за допомогою вбудованих засобів. Для автоматичного відображення графіків спектральної щільності енергії з бажаними параметрами використовується наступна процедура:

```
B=1:1:N/2+1;
B=B-1;
B=B.*F;
plot(B,A,'k-')
grid on
```

Для кількісної оцінки ефективності використання частотної смуги автором запропоновано використати коефіцієнт $K_{еф.вик}$, який показує відношення енергії досліджуваного сигналу до можливої енергії сигналу в разі, якщо його спектральна щільність енергії рівномірна, і її рівень дорівнює максимальному значенню щільності енергії досліджуваного сигналу:

$$K_{еф.вик} = \frac{E_x}{E_{\max}}, \qquad (3)$$

де $E_{\max}$ – максимально можлива енергія сигналу, в разі рівномірної спектральної щільності,

E_x – енергія досліджуваного сигналу $x(t)$.

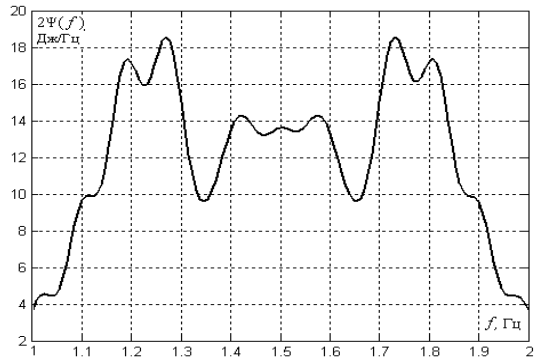
Для такого роду досліджень існує можливість генерування тестових сигналів програмним шляхом в середовищі MATLAB. Іншою альтернативою є застосування спеціалізованого програмного забезпечення, наприклад, Sonic Foundry Sound Forge. Це цифровий аудіоредактор призначений для професійної та напівпрофесійної роботи. Основними особливостями є опрацювання сигналів в реальному часі, підтримка високорозрядних форматів, вбудовані генератори «білого», «рожевого» та «коричневого» шумів, DTMF/MF сигналів, генератори простих форм, як то синусоїдна, прямокутна, трикутна і т. ін. Для аналізу реальних сигналів необхідно мати фізичний інтерфейс для масштабування, оцифровування сигналів та обміну даними з комп'ютером. Найпростішим варіантом є використання звукового адаптера, вбудованого в більшість сучасних комп'ютерів і програмних засобів запису сигналів, що інтегровані в сучасні операційні системи або спеціалізованих програмних засобів. Зокрема можливість запису сигналів з широкими можливостями корекції параметрів присутня в програмі WaveLab. Проте недоліком такого підходу є обмежена частотна смуга, як правило, величиною порядку сотень кГц і наявність тільки двох каналів. Для аналізу реальних сигналів за восьми незалежними каналами автором розроблено спеціалізоване апаратне та програмне забезпечення на базі мікроконтролера AVR типу ATmega168A-AU та інтерфейсу TTL-UART-RS-232 типу MAX232, що увімкнені за типовими схемами. В програмі здійснюється постійне перемикання входів АЦП з подальшим виведенням одержаних відліків сигналів в комунікаційний порт. Фіксація інформації зі сторони

комп'ютера можлива як за допомогою термінальної програми, наприклад, Hyper Terminal з розміщенням інформації в текстовому файлі з подальшим імпортуванням в MATLAB, так і з використанням можливостей MATLAB по роботі безпосередньо з комунікаційними портами. Ділянка програмного коду, що здійснює перемикання входів АЦП для компілятора WinAVR наведена нижче. WinAVR це компілятор з С-подібної мови для мікроконтролерів AVR, що розповсюджується як вільне програмне забезпечення [14].

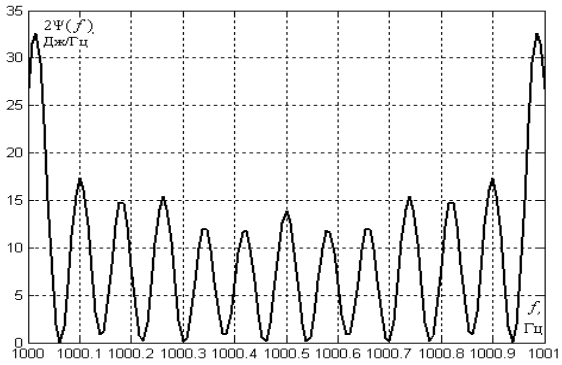
```
#include <avr/io.h>
#include <avr/interrupt.h>
#include "ADC.h"
unsigned int data[8];
static unsigned char index=0;
ISR (ADC_vect)
{ data[index]=ADCW;
if (++index > 7) index=0;
ADMUX=0x40+index;
_delay_loop_1(200);
ADCSRA|=0x40; }
```

Однобічна спектральна щільність енергії змодельованого частотно модульованого за лінійним законом сигналу представлено на рисунку 1, а). Параметри сигналу наступні: тривалість 13 с, енергія 13 Дж, база 11,14 дБ, форма модульованого сигналу синусоїдна, протягом тривалості сигналу значення частоти модульованого сигналу змінюється від 1 до 2 Гц. Як можна побачити, використання частотної смуги каналу є відносно рівномірним, з наявністю локальних екстремумів, що розташовані на частотах кратних до оберненої тривалості сигналу. У даному випадку, максимальне значення щільності енергії сигналу складає 18,47 Дж/Гц, а потенційне значення енергії в смузі частот 1 Гц, відповідно 18,47 Дж, отже, значення коефіцієнту дорівнює 13 Дж / 18,47 Дж = 0,704.

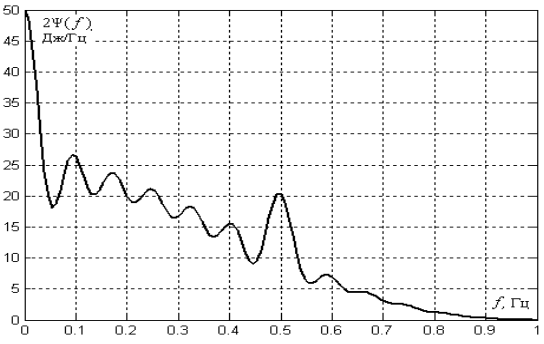
Спектральна щільність енергії змодельованого МС сигналу наведена на рисунку 1, б). Параметри сигналу повністю аналогічні розглянутому вище. Сигнал є адитивною сумішшю 13-ти синусоїдних складових з однаковою початковою фазою в смузі частот 1 Гц, з відстанню між ними 1/13 Гц. Як можна побачити, використання частотного ресурсу є суттєво нерівномірним. Значення коефіцієнту складає близько 0,4.



а)



б)



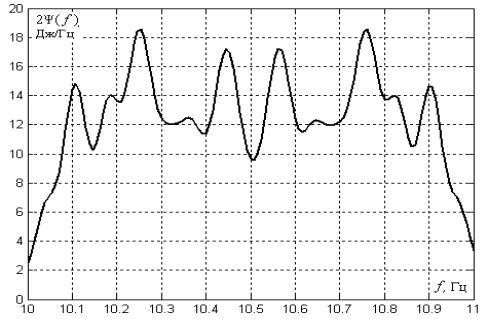
в)

Рисунок 1 – Спектральна щільність енергії широкосмугових сигналів:
а) FM сигнал, б) МС сигнал, в) DSSS сигнал (код Баркера)

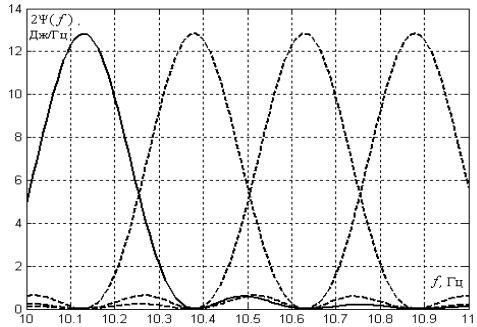
Однобічна спектральна щільність енергії одного з варантів змодельованого DSSS сигналу, сформованого за допомогою 13-бітового коду Баркера наведена на рис. 1, в). Параметри сигналу наступні: тривалість сигналу 13 с, тривалість елементарного сигналу 1 с, енергія 13 Дж, база 11,14 дБ. Графічне представлення наведено для смуги частот від 0 до 1 Гц, що відповідає інтервалу до першого нуля спектральної щільності енергії елементарного сигналу. Як можна побачити рисунку з 1, в),

використання частотного ресурсу є нерівномірним. Значення коефіцієнту складає 0,26. Низьке значення коефіцієнту, в даному випадку, пояснюється наявністю значного рівня постійної складової, обумовленої незбалансованістю сигналу Баркера з довжиною 13.

Спектральна щільність енергії змодельованого сигналу FHSS подано на рис. 2, а). Як можна побачити, характерним є те, що енергія сигналу відносно рівномірно розподілена у частотній області, значення коефіцієнту складає 0,62, проте, слід зауважити, що спектрограма представлена рис. 2, а) розрахована протягом усієї тривалості символьного інтервалу (для досліджуваного сигналу тривалість складає 16 с). Якщо ж розгляд обмежити тривалістю елементарного сигналу (для даного випадку 4 с), то можна побачити, що протягом його тривалості використовується тільки одне значення частоти, а енергія на всіх решта частотах практично відсутня, що пояснюється принципом формування таких сигналів (див. рис. 2, б)). Щільність енергії першого елементарного сигналу показана суцільною лінією, щільності решти сигналів - пунктирною. Таким чином, використання частотного ресурсу для таких сигналів слід вважати суттєво нерівномірним. Коефіцієнт використання для розглянутого сигналу складає близько 0,25.



а)



б)

***Рисунок 2** – Спектральна щільність енергії: а) FHSS сигналу, б) елементарних сигналів FHSS*

Спектральна щільність енергії сигналів з керованою ентропією аналогічна до щільності випадкового сигналу з характеристиками наближеними до характеристик "білого шуму" і є рівномірною.

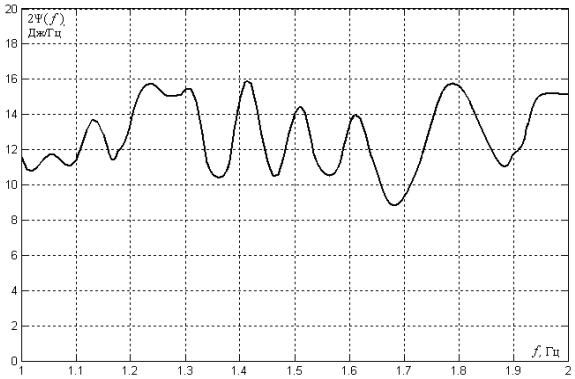


***Рисунок 3** – Спектральна щільність енергії випадкового сигналу з керованою ентропією з параметрами наближеними до «білого» шуму.*

Ідеалізований графік однобічної спектральної щільності для такого фільтрованого сигналу тривалістю сигналу 13 с енергія 13 Дж має вигляд прямої лінії на рівні 13 Дж/Гц в смузі від 0 до 1 Гц. У порівнянні з результатами, що представлені на рис. 1 та 2 можна зробити висновок, що у цьому випадку використання частотного ресурсу є суттєво рівномірнішим і для ідеалізованого випадку дорівнює одиниці. Проте, оцінки спектрів змодельованих сигналів показують, що спектральна щільність хоча і може бути апроксимована такою залежністю, вона містить випадкові відхилення від ідеалізованої кривої. Для змодельованого сигналу, графік щільності енергії якого, представлено на рисунку 3, значення коефіцієнту складає близько 13/16 = 0,81.

Основні результати досліджень. Отримані коефіцієнти для різних типів сигналів подані в табл. 1.

Таблиця 1 –

Коефіцієнти ефективності використання частотного ресурсу

Тип сигналу	FM	MC	FHSS	DSSS	Керована ентропія
$K_{еф.вик}$	0,704	0,4	0,62	0,26	0,81

ВИСНОВКИ

В роботі показано застосування сучасних інформаційних технологій та програмних засобів при моделюванні та аналізі каналів телекомунікаційних та

комп'ютерних систем. Отримано числові характеристики ефективності використання частотного ресурсу при формуванні широкосмугових сигналів за найбільш поширеними методами. Встановлено, що широкосмугові сигнали з керованою ентропією характеризуються більшою ефективністю та рівномірністю використання частотного ресурсу у порівнянні з традиційними широкосмуговими сигналами. Як відомо з [3], усі позитивні якості широкосмугових сигналів проявляються тим виразніше, чим рівномірніше є розподіл енергії за частотами. Отже, слід очікувати покращення характеристик обміну даними між комунікаційними засобами саме для випадку застосування випадкових широкосмугових сигналів з керованою ентропією, що приведе до зменшення похибок у трактах обміну даними в інформаційних телекомунікаційних мережах та розподілених комп'ютерних системах загального та спеціального призначення.

ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Основними перспективними напрямами подальшого дослідження є вдосконалення процедури оцінювання ентропії, з метою мінімізації ймовірності помилок та суттєвого прискорення обчислень при цифровому опрацюванні сигналів, підвищення ефективності процедури демодуляції, реалізація методів ефективної бітової синхронізації тощо.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Bernard Sklar. Digital communications: fundamentals and applications /Bernard Sklar – 2-ed. – Prentice-Hall PTR, 2001. – 1079 p.
2. John G. Proakis, Masoud Salehi. Digital Communications /John G. Proakis, Masoud Salehi. – McGraw-Hill higher education, 2008. – 1050 p.
3. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами /Варакин Л.Е. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
4. Шахнович И. Сверхширокополосная связь. Второе рождение? /Шахнович И. //Электроника: НТБ. – 2001. – №4. – С.8-15.
5. Бунин С. Назад к Герцу? /Бунин С. //Радио. – 1990. – №7. – С.17-20.
6. Дубровский В. Анализ возможностей применения хаоса в современных системах связи [Електронний ресурс] /В. Дубровский. – Режим доступу: http://www.radioradar.net/articles/scientific_technical/haos2.html
7. Бельский Ю.Л. Передача информации с помощью детерминированного хаоса /Бельский Ю.Л., Дмитриев А.С. //Радиотехника и электроника. – 1993. – Т.38. – № 7. – С.1310-1315.
8. Пат. 81017 Україна, МПК (2006) H04B 1/69. Спосіб передавання та приймання інформації /Мельничук С.І., Козленко М.І. (Україна). – заявка № a 2005 08893; заявл. 19.09.2005; опубл. 26.11.2007, Бюл. №19.
9. Козленко М.І. Формування та обробка широкосмугових сигналів на основі випадкових процесів зі змінною ентропією розподілу імовірностей станів /Козленко М.І., Мельничук С.І. //Наукові вісті інституту менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2006. – №1 (9). – С.28-31.
10. Мельничук С.І. Дослідження статистичних характеристик випадкових сигналів провідникових та радіоканалів обміну даними розподілених систем контролю /Мельничук С.І., Козленко М.І. //Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – №4. – Частина 1. – Том 2. – С.62-65.
11. Ануфриев И.Е. MATLAB 7 /Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с.
12. Криксунов В.Г. Спектральний аналіз електричних сигналів /Криксунов В.Г. – К.: Техніка, 1971. – 196 с.
13. Гольденберг Л.М. Цифровая обработка сигналов: Справочник /Гольденберг Л.М., Матюшкин Б.Д., Поляк М.Н. – М.: Радио и связь, 1985. – 312 с.
14. WinAVR [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.source-forge.net/projects/winavr.html

АЛГОРИТМ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ ГИСТОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ

УДК 004.932.2

СОКОЛОВА Надежда Андреевна
д.т.н., профессор, заведующая кафедрой Экономической кибернетики
Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: информационные технологии, управление сложными процессами.

ОРЕЛ Валерий Эммануилович
д.б.н., профессор, заведующий лабораторией медицинс
кой физики и инженерии Национального института рака.
Научные интересы: биоинженерия в области онкологии,
медицинская физика, обработка медицинских изображений.

ГУСЫНИН Андрей Вячеславович
к.т.н., доцент, доцент кафедры медицинской кибернетики и телемедицины
Межуниверситетского медико-инженерного факультета НТУУ «Киевский политехнический институт».
Научные интересы: информационные технологии, телемедицина,
обработка изображений, медицинские информационные системы.
e-mail: gusynin@gmail.com

СЕЛЕЗНЕВА Анна Александровна
ассистент кафедры биомедицинской инженерии Межуниверситетского
медико-инженерного факультета НТУУ «Киевский политехнический институт».
Научные интересы: объектно-ориентированные базы данных,
обработка изображений, медицинские информационные системы.
e-mail: selezneva_anna@ukr.net

КОЛЕСНИК Сергей Владимирович
студент VI курса кафедры медицинской кибернетики и телемедицины
Межуниверситетского медико-инженерного факультета НТУУ «Киевский политехнический институт».
Научные интересы: обработка медицинских изображений, алгоритмы сегментации,
медицинские информационные системы.
e-mail: sergeykievua@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Гистологическое исследование новообразований является одним из основных методов ранней диагностики и выбора метода лечения онкологических заболеваний. По форме, плотности и размерам клеток и их ядер на изображении гистологических препарата врач может сделать заключение относительно характера заболевания исследуемого органа человека. В настоящее время большинство морфометрических и стереометрических исследований врач-гистолог проводит «ручным» способом.

При этом, все измерения и подсчеты выполняет при визуальном анализе сам врач, а последующий

статистический анализ проводится с помощью компьютера. Такой «визуальный» подход обладает рядом недостатков, связанных с опытом и психоэмоциональным состоянием врача, а также трудоемкостью и большими временными затратами [1]. Поэтому, визуальная микроскопия даже при высокой квалификации врача-гистолога, тяжела, субъективна и ограничена по своим реальным возможностям. Кроме того, далеко не вся присутствующая в гистологическом препарате диагностическая информация может быть извлечена глазами врача. В связи с этим, для объективной оценки медицинских изображений, увеличения диагностической точности и скорости обработки информации, задача компьютеризированного анализа гистологических изображений является актуальной проблемой.

Целью статьи является описание процесса построения алгоритма компьютеризированного анализа изображений гистологических препаратов.

Постановка задачи. «Ручной» анализ гистологических изображений по срезам включает в себя следующие этапы [2]:

– стандартная подготовка исследуемого образца;

– нахождение и выделение анализируемого объекта;

– измерение заданных параметров объекта;

– передача полученных характеристик в компьютер;

– получение количественной информации об изучаемом объекте.

При анализе микроскопических объектов врачу-гистологу приходится решать разнообразные задачи от простого определения числа элементов до оценки их функционального состояния и сложнейших вопросов диагностики. Большую помощь в таком анализе должны оказать автоматизированные методы анализа, позволяющие получить объективные количественные характеристики на большом числе измерений.

Одним из важнейших этапов процесса компьютеризированного анализа медицинских изображений является выделение объектов изображения (сегментация), решаемая с помощью методов и средств цифрового анализа изображений [3, 4]. Эффективность компьютеризированного анализа изображений гистологических препаратов существенно зависит от качества полученных образцов гистологических препаратов, которое зависит от ряда параметров (толщина и окраска срезов, однотипность стекол и т.д.).

При сегментации медицинских изображений обычно рассматривается задача разбиения изображения на две основные области – объект исследования и фон. Однако, в случае цифровых гистологических изображениях, присущие им особенности вносит определенную специфику на этапе их сегментации.

Цифровые гистологические изображения представляют собой особый вид медицинских изображений, обладающие следующими особенностями [3-5]:

– неравномерный фон;

– границы между цитоплазмой и ядром клетки могут быть слабо различимы;

– клетки могут быть расположены близко друг к другу;

– внутри ядер клеток могут наблюдаться сильные перепады яркости;

– изображения характеризуются высокой вариабельностью геометрических и оптических показателей и т.д.

Как показывают медицинские исследования, разные по своей гистологической принадлежности опухоли строго специфичны как на тканевом, клеточном, так и на структурном уровнях. Однако существует ряд морфологических и цитологических методов, которые могут определить доброкачественность или злокачественность данной опухоли. Эти признаки, несмотря на разнообразие опухолей, являются для них общими. Такими признаками являются [6]:

– размеры клеток;

– размеры ядра клетки;

– ядерно-цитоплазматическое соотношение.

По форме, плотности и размерам клеток и их ядер на изображении гистологических препаратов квалифицированный врач-гистолог может сделать заключение относительно характера заболевания исследуемого органа человека. Таким образом, анализ изображений гистологических срезов любой топологии сводится к морфологической оценке цитологической картины:

– фон препарата, наличие и характер межуточного вещества;

– количество и размещение клеток, образование комплексов или структур, сохранность клеточных границ;

– размеры и формы клеток;

– ядро – форма и размеры, размещение и окрашиваемость;

– ядерно-цитоплазматическое соотношение;

– характер строения хроматина;

– ядрышки – количество, форма, размеры, четкость границ;

– цитоплазма – объем, окрашенность, четкость границ, секреция включений, вакуолизация;

– наличие многоядерных клеток, фигур деления (атипичные митозы).

На сегодняшний день выделяют три основных метода анализа медицинских изображений – метод выделения границ объектов изображения (пороговая сегментация, алгоритм активных контуров, высокочастотная фильтрация и т.д.), метод выделения по шаблону формы объекта и метод определения областей (кластеризация, блочная сегментация, наращивание областей, разметка изображений и т.д.).

В работе [4] приведена классификация объектов медицинского изображения и методов их сегментации (табл. 1).

Таблица 1 –

Использование методов сегментации медицинских изображений

Тип изображений	Используемый алгоритм
объекты одного типа, размещенные отдельно	пороговая сегментация, высокочастотная фильтрация
объекты одного типа, размещенные отдельно (нечеткие границы)	водораздел, кластеризация
объекты разных типов, размещенные отдельно	пороговая сегментация, кластеризация, наращивание областей
объекты разных типов, размещенные отдельно (нечеткие границы)	пороговая сегментация, кластеризация
объекты одного типа, размещенные вместе	кластеризация, высокочастотная фильтрация
объекты одного типа, размещенные вместе (нечеткие границы)	пороговая сегментация, кластеризация
объекты разных типов, размещенные вместе	кластеризация, наращивание областей, водораздел
объекты разных типов, размещенные вместе (нечеткие границы)	водораздел, кластеризация

Как показывает практика, одним из наиболее широко применяющихся подходов к сегментации медицинских изображений является метод выделения границ объектов изображения. Данный метод не позволяет качественно решить задачу сегментацию ядер и цитоплазмы клеток медицинского изображения, если фон не однороден, клетки сильно скупчены, имеют место сильные вариации яркости внутри ядер. При этом выбор порогов сегментации основывается на априорной информации про выделяемые объекты и на анализе гистограмм распределения яркости. Преимуществом же таких алгоритмов является высокое быстродействие и простота реализации. При использовании метода выделения по шаблону формы объекта получают большое количество ошибочных решений, и существует большая зависимость от точности выбранного шаблона объекта, высокая сложность, и, как следствие, низкое быстродействие. Для высокой точности выделения объекта необходимо постоянное взаимодействие с оператором. Метод определения областей, соответствующих объекту, используется в том случае, когда структура ткани является фоном и не позволяет определить клетку, так как ее элементы имеют яркость и уровни перепада яркости, которые совпадают с яркостью фона. Недостатком этого метода является проблема выбора стартовых точек сегментации [1,4].

Приведенные выше особенности изображений гистологических препаратов, особенности анализа изображений гистологических срезов, а также отсутствие специализированных и недостаточная эффективность существующих методов сегментации изображений не позволяют качественно решить задачу сегментации изображений гистологических препаратов. Это приводит к необходимости разработки новых методов и соответствующих алгоритмов сегментации объектов на гистологических изображениях, которые позволяли бы получить результат, полностью удовлетворяющий врача-гистолога.

ПОСТРОЕНИЕ АЛГОРИТМА

Построение алгоритма полуавтоматического анализа изображений гистологических препаратов предполагает использование следующих моделей [7]:

– функциональное моделирование;

– моделирование потоков данных между функциональными процессами;
– отношения между данными;
– «USE-CASE» моделирование.

Функциональное моделирование алгоритма для компьютеризированной сегментации гистологических изображений производилось с помощью метода SADT (Structured Analisys and Design Technique – структурный анализ и техника проектирования). Данный метод представляет собой совокупность правил и процедур, предназначенных для построения функциональной модели объекта любой предметной области. Диаграмма SADT, описывающая модель разработанного алгоритма представлена на рис. 1.

Моделирование потоков данных (DFD - Data Flow Diagrams) используется для описания движения документов и обработки информации как дополнение к SADT. Стрелки в DFD показывают как объекты (включая данные) движутся от одного модуля к другому. DFD отражает функциональные зависимости значений, вычисляемые в системе, включая входные значения, выходные значения и внутренние хранилища данных (рис. 2).

Рисунок 1 –Диаграмма функционального моделирования

Рисунок 2 –Диаграмма потоков данных

Рисунок 3 –Диаграмма «сущность-связь»

Рисунок 4 – «USE-CASE» диаграмма

Отношения между данными или модель «сущность-связь» (англ. ERM, Entity-Relationship Model) – модель данных, позволяет описывать концептуальные схемы. Она представляет собой графическую нотацию, основанную на блоках и соединяющих их линиях, с помощью которых можно описывать объекты и отношения между ними в любой другой модели данных. ERM-диаграмма позволяет рассмотреть систему целиком и определить требования, необходимые для ее разработки и хранения информации (рис. 3).

«USE – CASE» моделирование позволяет создать список операций, выполняемых системой. Часто этот вид диаграмм называют диаграммой функций, т.к. на основе набора таких диаграмм создается список требований к системе и определяется функции, выполняемых системой. Каждая такая диаграмма – описание сценария поведения, которую наследуют действующие лица. Такой тип диаграммы используется при описании процессов автоматизирующейся предметной области, определение требований к будущей программной системы, отражает объекты, как системы, так и предметной области и выполняемые ними задачи (рис. 4).

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННОЙ СЕГМЕНТАЦИИ

Основываясь на результатах построения алгоритма компьютеризированной сегментации изображений гистологических препаратов, авторами предлагается методика разработки алгоритма компьютеризированной сегментации изображения гистологического препарата, которая заключается в выполнении следующих действий [8]:

1. преобразование исходного изображения в серошкальное;
2. нормализация гистограммы яркости изображения;
3. задание границ яркости для ядра и цитоплазмы клеток;
4. создание копии изображения;
5. акварелизация копии изображения;
6. поиск клеточных ядер и цитоплазмы;

7. сглаживание границ клетки
8. вычисление контуров клетки;
9. перенос полученного контура клетки на изображение-оригинал.

Блок-схема предлагаемого алгоритма приведена на рис. 5.

Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма

Использование предлагаемого алгоритма позволяет повысить эффективность и точность выделения границ ядра и оболочки опухолевых клеток. В результате работы алгоритма получается сегментированное изображение гистологического препарата, готовое к вычислению основных морфометрических показателей клеток.

Разработанный алгоритм реализован в виде программно-инструментального средства, используемого в исследовательской работе. Интерфейс пользователя и модуль сегментации изображения разрабатывался с использованием Java Standard Edition Development Kit (в том числе Swing Component Library). Для организации хранилища данных, экспертной подсистемы и постобработки данных изображений использовалась объектная база данных Cache. Пользовательский интерфейс программы представлен на рис. 6.

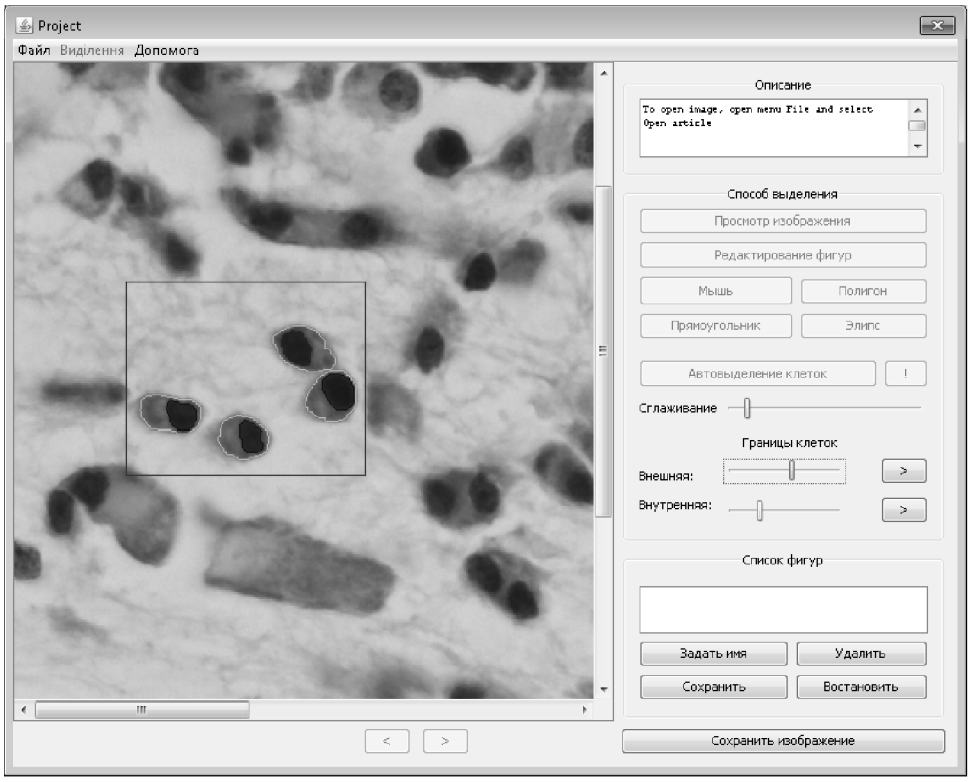


Рисунок 6 – Интерфейс программы для компьютеризированной сегментации изображения гистологического препарата

ВЫВОДЫ

Проанализированы проблемы визуального проведения гистологических исследований врачами-гистологами и показана актуальность задачи компьютеризированного анализа гистологических изображений. Рассмотрены особенности цифровых изображений гистологических препаратов. Приведены основные

методы анализа медицинских изображений и показаны их основные преимущества и недостатки. Приведены этапы построения алгоритма компьютеризированной сегментации изображений гистологических препаратов – функциональное моделирование, «USE-CASE» моделирование, моделирование потоков данных между функциональными процессами и отношения между данными.

На основании полученных результатов предложена методика разработки алгоритма компьютеризированной сегментации изображения гистологического препарата, которая реализована в виде программно-инструментального средства.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Орел В.Э. Методы цифрового анализа изображений гистологических препаратов [Текст] /В.Э. Орел, А.В. Гусынин, А.А. Селезнева, С.В. Колесник, А.А. Стендик и др. //Біомедична інженерія і технологія : III межд. конф. 15-16 марта 2012. – К.: НТУУ «КПИ». – С.143-145.
2. Автоматизация морфометрических и стереометрических исследований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.nadzor.ru/topics/medicina/western/current/449746.
3. Мартыненко Т.В. Сегментация и классификация цветных изображений гистологических срезов [Текст] /Т.В. Мартыненко //Наукові праці ДонНТУ. – 2006. – В.107. – С.104-110.
4. Батько Ю.М. Метод і алгоритми сегментації біомедичних зображень на основі попередніх розміток [Текст] / Ю.М. Батько //Штучний інтелект. – 2010. – №4. – С.140-149.
5. Недзьведь А.М. Сегментация слабоконтрастных изображений гистологических объектов: автореф. дис. … канд.тех.наук: 05.13.16 /Александр Михайлович Недзьведь, Ин-т технической кибернетики. – Минск, 2000. – 20 с.
6. Белявцев А.А. Разработка специализированной компьютерной системы диагностики клеток на основе анализа изображений [Электронный ресурс] /А.А. Белявцев. – Режим доступа: http://masters.donntu.edu.ua /2004/kita/belyavtsev/diss/index.htm
7. Вендров А.М. Современные технологи создания программного обеспечения. Обзор. [Электронный ресурс] / А.М. Ведров //Jet Info Online. – 2004. – №4. – Режим доступа: http://citforum.ru/programming/application/program/index.shtml#v
8. Орел В.Э. Алгоритм анализа цифровых изображений гистологических препаратов [Текст] /В.Э. Орел, А.В. Гусынин, А.А. Селезнева, С.В. Колесник, А.А. Стендик и др. // Телемедицина – опыт@ перспективы: VII межд. конф. 19-20 марта 2012. – Донецк (Украина). – С.83.

ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ИНДУСТРИИ ВИДЕОИГР

УДК 004.946

Тимчук Олег Сергеевич
аспирант, старший преподаватель кафедры Компьютерных технологий Донецкого национального университета.
Научные интересы: нечеткие логические системы первого и второго типа, адаптивные системы.
e-mail: o.s.timchuk@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время развлекательное интерактивное программное и аппаратное обеспечение для видеоигр является наиболее развивающимся в отрасли развлечений. Видеоигры составляют значительную долю СМИ и отрасли развлечений, к которой относят: Интернет, Интернет - рекламу, ТВ, телевизионную рекламу, музыку, киноиндустрию, видеоигры, журналы, газеты, радио, книгоиздание, издательский бизнес [1]. Новые формы развлечений, создаваемые индустрией видеоигр, ежегодно увеличивают мировой рынок игровых платформ и программного обеспечения, который по данным DFC Intelligence на начало 2012 г. оценивается в 65-70 млрд. дол. США [2]. Основными факторами стабильного ежегодного увеличения покупательского спроса являются [1-3]:

1) Развитие и регулярный выпуск аппаратного обеспечения (игровые консоли).

2) Развитие технологий беспроводной передачи данных и их применение в видеоиграх.

3) Использование разработчиками видеоигр возможностей современных графических, звуковых процессоров и информационных технологий визуализации данных, что позволяет создать интересную 3D игровую сцену.

4) Использование интерфейсов четвертого поколения (NUIs) для взаимодействия игрока-человека с видеоигрой. NUI – сенсорный ввод, обработка жестов, функции упреждающего и многозначного отклика, реагирование на контекст или местоположение, создание сред с эффектом присутствия [4]. Примером NUI является сенсорный контроллер Kinect для игровой консоли Xbox 360, выпущенный компанией Microsoft в 2010 г.

5) Увеличение количества людей, использующих информационные технологии в повседневной жизни.

Перечисленные факторы относятся к экстенсивным факторам развития индустрии видеоигр, что не позволяет обеспечить стабильный рост покупательского спроса в ближайшем будущем. Для решения данной проблемы необходимо развивать информационные технологии, обеспечивающие построение интерактивного игрового процесса. Важными составляющими интерактивного игрового процесса являются:

1) Форма взаимодействия игрока – человека с видеоигрой.

2) Поведение компьютерных персонажей видеоигры (NPCs [5]) – пользователи видеоигр хотят, чтобы NPCs действовали подобно поведению человека. Для этого при организации взаимодействия игрока – человека с NPCs необходимо учитывать когнитивные характеристики игрока - человека. Однако существующие информационные технологии, применяемые для разработки видеоигр, не позволяют в полном объеме фиксировать и обрабатывать информацию такого рода.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И ИССЛЕДОВАНИЙ

На современном этапе усилия разработчиков видеоигр сосредоточены как на развитии аппаратного, так и программного обеспечения для видеоигр. Анализ текущего состояния мирового рынка видеоигр и прогнозы развития индустрии видеоигр представлены в работах [1-3, 6]. Основным направлением развития программного обеспечения является разработка методов поведения NPCs [7]. В работах [7, 8] представлены основные подходы формирования поведения NPCs, основанные на методах теории вычислительного интеллекта. На сегодняшний день для построения поведения NPCs разработчики видеоигр все чаще используют адаптивные модели поведения NPCs [9-12]. Однако предлагаемые модели ограничены и не способны в полном объеме удовлетворить потребности игрока – человека (модели, как правило, частично адаптивные; игровой процесс развивается по схеме, заложенной разработчиками в древовидной структуре поведения NPCs). Актуальным является разработка новых моделей и методов поведения NPCs.

ЦЕЛЬ СТАТЬИ

Выполнить анализ состояния индустрии видеоигр, и в частности, применение методов вычислительного интеллекта для формирования поведения NPCs. Выделить основные преимущества и недостатки существующих информационных технологий, применяемых для разработки видеоигр. Обосновать применение парадигмы развивающегося интеллекта [13, 14] в видеоиграх с целью повышения интересности игрового пространства.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

1. Рынок индустрии видеоигр. Основным критерием качества видеоигры является ее интересность. Повышение интересности видеоигры обеспечивается за счет развития форм взаимодействия игрока – человека с видеоигрой (рис. 1) (платформы, устройства ввода / вывода) и программных компонентов видеоигры. В основе видеоигры лежит платформа, на которую ориентирована игра. Различают следующие платформы [1, 15]: компьютер, игровая консоль, портативная игровая система и мобильные/WiFi телефоны/устройства.

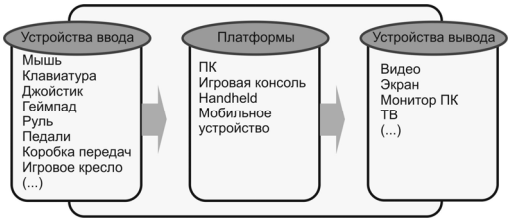


Рисунок 1 – Аппаратные компоненты видеоигры

Компьютерная видеоигра – видеоигра, в которой игрок-человек взаимодействует с ПК. Различные исследовательские центры по-разному оценивают мировой рынок компьютерных видеоигр. Это связано с высокой долей пиратской продукции и нелегальным использованием игрового контента. По данным исследований JRC – IPTS, 2010 г., лидерами в разработке компьютерных игр являются [1]:

1) The Sims. Объем продаж: 16 млн. единиц (издатель: Electronic Arts, США, 2000 г.).

2) The Sims 2. Объем продаж: 13 млн. единиц (издатель: Electronic Arts, США, 2004 г.).

3) StarCraft. Объем продаж: 11 млн. единиц (издатель: Blizzard Entertainment, США, 1998 г.).

Игровая консоль – специализированное электронное устройство для видеоигр (устройством вывода является телевизор или, реже, компьютерный монитор). По данным исследований JRC – IPTS [1] и GDR [3], продажа игровых консолей началась с 1977 года и за период 1977-2012 гг. количество проданных консолей превысило 664 млн. единиц. Рейтинг игровых консолей представлен в табл. 1 [1, 3, 15].

Таблица 1 –

Рейтинг игровых консолей

Консоль	Производитель	Рейтинг	Год выпуска
Xbox 360	Microsoft	37%	2005
PS 3	Sony	24,6%	2006
Wii	Nintendo	19,9%	2006
PC	NEC Corporation	8,1%	1994
NDS	Nintendo	7%	2004
PS 2	Sony	3,1%	2000
PSP	Sony	0,2%	2004
Others	-	0,1%	с 1977

Портативная игровая система (handheld) – легкое, компактное электронное устройство, предназначенное для видеоигр. От игровых консолей отличаются ком-

пактностью и мобильностью; игровой контроллер, экран и звуковоспроизводящие элементы, как правило, являются здесь частью самого устройства.

Мобильные/WiFi телефоны/устройства – устройства, способные кроме основного своего назначения, обеспечить игровую платформу для видеоигры.

На сегодняшний день мировой рынок игровых платформ приблизительно распределен следующим образом: компьютерные видеоигры – 5%; мобильные видеоигры – 42%; консоли и handhelds – 53%. Диаграмма, отражающая тенденции мирового рынка платформ для видеоигр за период 2004 – 2013 гг., представлена на рис. 2 [1, 3].

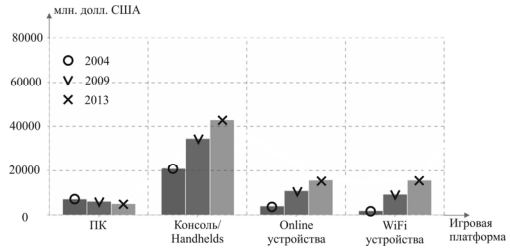


Рисунок 2 – Мировой рынок платформ видеоигр

Анализ мирового рынка платформ видеоигр показал, что рост доли рынка консолей и handhelds связан с увеличением целевой аудитории, а также появлением на рынке консоли Xbox 360 (Microsoft). Интерактивный игровой процесс – основная причина повышения интересности видеоигр, ориентированных на игровую консоль. Рынок видеоигр, ориентированный на мобильные устройства (online, WiFi), демонстрирует стабильное развитие. На сегодняшний день мобильные устройства все чаще используются в качестве игровой платформы, вместо своего целевого назначения. В 2004 г. отмечается резкое падение интереса пользователей к видеоиграм, ориентированных на платформу ПК. Основными причинами падения интереса являются:

1) необходимость постоянного обновления аппаратной части ПК из-за высоких системных требований современных видеоигр;

2) разработчики и издатели видеоигр в первую очередь ориентируются на игровые консоли, поэтому предложений для игровых консолей значительно больше, чем для ПК.

В 2011 году объем продаж видеоигр для всех игровых платформ на мировом рынке превысил 40 млрд. долл. США [1, 3, 6]. Диаграмма, отображающая тенденции мирового рынка видеоигр для всех типов игровых платформ за период 2008-2012 гг., представлена на рис. 3.

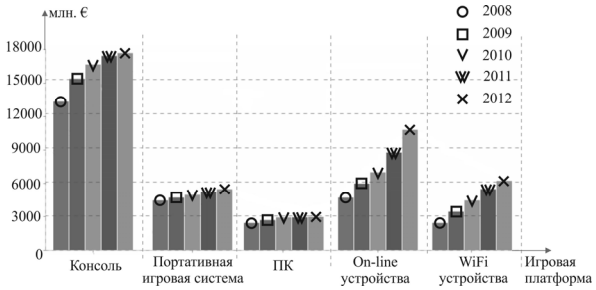


Рисунок 3 – Мировой рынок программного обеспечения видеоигр

Согласно рис. 2 и рис. 3, перспективным направлением является разработка видеоигр под игровые консоли. Рейтинг ведущих мировых разработчиков видеоигр представлен в табл. 2 [6, 16].

Таблица 2 –

Рейтинг мировых разработчико в видеоигр

Производитель	Видеоигры
Nintendo (Япония) www.nintendo.com	Super-Mario, Brain Age
Electronic Arts (США) www.ea.com	The Lord of the Rings, The Sims 2, The Sims 3
Activision Blizzard (США) www.activisionblizzard.com	Diablo
Ubisoft (Франция) www.ubi.com	Rayman
Take – Two Interactive (США) www.take2games.com	L.A. Noire, Red Dead Redemption
Sony Computer Entertainment (Япония) www.scei.co.jp	Ape Escape, SingStar
Bethesda Softworks (США) www.bethsoft.com	RAGE, The Elder Scrolls V: Skyrim
THQ(США) www.thq.com	Warhammer 40,000: Dawn of War III, Warhammer 40,000: Dark Millennium Online
Square Enix (Япония) www.square-enix.com	HITMAN, Final Fantasy XI
Microsoft (США) www.microsoft.com	Age of Empires, Flight Simulator, Gears of War (PC)

Согласно табл. 2, центрами развития индустрии видеоигр являются США и Япония.

Индустрия видеоигр в Украине менее развита. Причинами этого являются:

1) нехватка подготовленных специалистов (ВУЗы не ведут подготовку специалистов в области разработки видеоигр, геймдизайна);

2) отсутствие инвестиций по причине нестабильного размытого налогового законодательства;

3) экономическая нестабильность национальной экономики Украины.

Существующие украинские студии (табл. 3) в основном занимаются разработкой видеоигр по заказу иностранных издателей [17].

Таблица 3 –

Украинские студии разработки видеоигр

Производитель	Видеоигры
GSC Game World www.gsc-game.com	Казаки: Европейские войны, Завоевание Америки, Александр, S.T.A.L.K.E.R.: Тень Чернобыля
4A Games www.4a-games.com	Metro 2033
Creoteam www.creoteam.com	Collapse
N-Game Studios www.ngsdev.com	Великие битвы: Курская Дуга, Великие битвы: Сталинград
Frogwares www.frogwares.com	Приключения Шерлока Холмса

По данным DFC Intelligence [2] к 2015 г. ожидается подъем потребительского спроса на видеоигры и игровые платформы до 115 млрд. дол. США. На рис. 4 представлена диаграмма роста мирового рынка видеоигр и игровых платформ [1-3, 15].

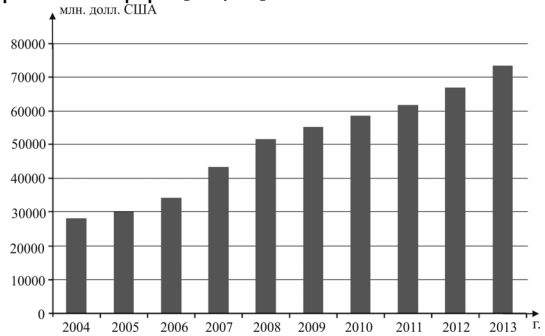


Рисунок 4 – Мировой рынок видеоигр и игровых платформ

Программное обеспечение видеоигры состоит из 3 уровней [18]:

1) 0 - й уровень – организация взаимодействия видеоигры с платформой посредством API (Microsoft XNA Framework, Direct 3D, OpenGL, Kinect SDK, DirectX и др.);

2) 1 - й уровень – ядро видеоигры (основные модули: звук, кинематика, графика, анимация, вычислительный интеллект, сетевое взаимодействие);

3) 2 - й уровень – пользовательский (расширяет функциональность ядра видеоигры, уточняет элементы игрового пространства).

Ядро является центральным элементом программного обеспечения видеоигры. Разработчики создают ядро видеоигры самостоятельно, либо используют уже готовые решения – Game Engines. Game Engines позволяют значительно упростить и ускорить процесс разработки видеоигры. В табл. 4 представлены наиболее популярные Game Engines, предоставляющие широкий набор инструментов для разработчиков [19].

Таблица 4 –

Популярные Game Engines

Название	Производитель
Havok	Havok (Ирландия) http://www.havok.com
Source Engine	Valve Corporation (США) http://source.valvesoftware.com
Unreal Engine	Epic Games (США) http://www.unrealengine.com
Unity	Unity Technologies (США) http://unity3d.com
CryEngine	CRYTEK (Германия) http://crytek.com
RAGE	Rockstar San Diego (США) http://www.rockstargames.com
X-Ray	GSC Game World (Украина) http://www.stalker-game.com

Основные преимущества использования Game Engines:

1) Наличие визуальной интегрированной среды разработки.

2) Поддержка нескольких платформ (ПК, Xbox 360, PS 2, PS 3, PS P, Wii).

3) Поддержка нескольких операционных систем (Microsoft Windows, Linux, Mac OS X, Android).

4) Полная реализация основных модулей ядра видеоигры.

Основные недостатки существующих Game Engines:

1) Отсутствует возможность фиксации и обработки когнитивных характеристик игрока – человека.

2) Методы вычислительного интеллекта для реализации поведения NPCs применяются в ограниченном виде. Поведение NPCs, в основном, строится на базе деревьев поведения (Behavior Trees [20]).

2. Использование вычислительного интеллекта в видеоиграх. Основными причинами ограниченного применения методов вычислительного интеллекта в моделях поведения NPCs являются:

1) повышение вычислительной сложности алгоритма поведения NPCs;

2) применение стандартных методов вычислительного интеллекта может дать несколько отрицательных эффектов: поведение NPCs сведется к примитивным схемам; приведет к усложнению игрового процесса, что может быть не интересно игроку - человеку; игрок – человек рано или поздно поймет, что поведение NPCs проходит по определенному дереву;

3) увеличение стоимости разработки за счет привлечения специалистов в области вычислительного интеллекта.

Разработчики видеоигр для создания моделей поведения NPCs чаще всего применяют методы теории нейронных сетей, нечетких систем и эволюционных вычислений [8]. Существующие модели поведения NPCs ограничены и имеют следующие недостатки:

1) Модели, как правило, не адаптивные или частично адаптивные. Это не позволяет настраивать модели поведения NPCs в реальном режиме времени.

2) В нужном объеме не ведется учет когнитивных характеристик игрока-человека (выбор прототипа, стратегии, когнитивный стиль игрока, активный вид памяти игрока и т.д.).

3) Любая видеоигра обладает большим количеством источников неопределенности. Наибольшей неопределенностью обладают NPCs – так как являются объектами видеоигры с вымышленными свойствами и поведением. Однако в существующих моделях неопределенные параметры рассматриваются как четкие или учитываются только с помощью теории нечетких множеств первого типа.

Таким образом, существующими методами преодолеть полностью трудности разработки моделей поведения NPCs не удалось. Актуальным является разработка других подходов, например, развивающегося интеллекта. Данный подход занимается моделированием функционирования мозга человека (адаптивное обучение, организация ассоциативной памяти, распознавание образов, формирование языка общения, формирование понятий, абстрактное мышление и т.д.) для создания саморазвивающихся, самообучаемых и адаптивных систем для приложений реального времени [13, 21]. Развивающийся интеллект является результатом взаимодействия традиционных моделей и методов теории вычислительного интеллекта [14]. Концептуальная модель развивающейся интеллектуальной системы представлена на рис. 5.

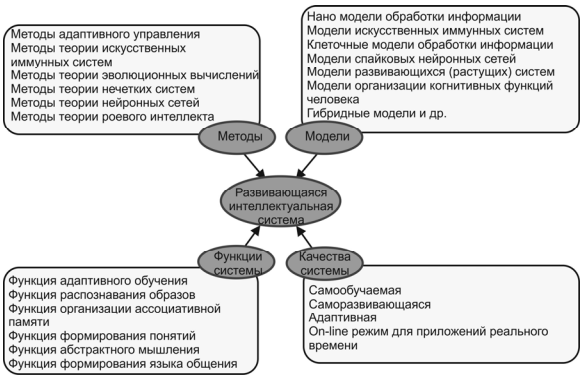


Рисунок 5 – Концептуальная модель развивающейся интеллектуальной системы

Развивающиеся интеллектуальные системы отличаются от традиционных интеллектуальных систем тем, что в процессе своего функционирования они изменяются с целью пожизненного обучения, адаптации и самоорганизации для того, чтобы адаптироваться к неизвестной и непредсказуемой окружающей среде [21]. Поэтому любая развивающаяся интеллектуальная система включает в себя модуль адаптации системы, который получает информацию как от объекта управления, так и от окружения. Модуль адаптации системы передает системе управления объектом либо новый закон управления, либо подстраивает параметры суще-

ствующего закона управления [14]. Изучением, анализом и решением адаптивных систем в видеоиграх занимаются ученые во многих странах мира [9-11]. Последние несколько лет специально для обсуждения проблемы развивающихся видеоигр проводится международная конференция IEEE Conference on Computational Intelligence and Games [22].

3. Опыт применения адаптивных систем в видеоиграх. Предопределенный сценарий развития игрового процесса может привести к предсказуемой игре, что понижает интересность видеоигры. В попытке придать игре индивидуальность часто применяют незначительные эвристики, которые зависят от выбора игрока - человека. Например, выполняется настройка уровня сложности, выбор временных ограничений или выбор сложности игры из доступных предопределенных стереотипов (“новичок”, “любитель”, “эксперт”). Такой дискретный подход часто оказывается не интересным для игроков (одни не знают, к какому профилю себя отнести, другие не согласны с предложенной классификацией) [12]. Основная причина ограниченного применения методов вычислительного интеллекта в видеоиграх – неопределенность многих параметров игрового пространства. Рассмотрим основные причины отсутствия значительной доли определенности в игровом пространстве:

1) Поведение игрока - человека изменяется со временем. Это приводит к тому, что предложенная модель организации игрового процесса становится неадекватной фактическому процессу, в результате чего игрок – человек теряет интерес к видеоигре.

2) Параметры модели поведения NPC рассчитываются для конкретной видеоигры. Поэтому интеграция уже готовой модели поведения NPC в другие видеоигры часто проблематична либо невозможна.

3) NPCs являются существенно нелинейными, но с целью упрощения этапа разработки, моделируются как линейные. Однако в модель поведения NPC закладываются адаптивные алгоритмы, что приводит к потере качества модели.

Для решения перечисленных проблем в видеоиграх применяют адаптивные системы управления игровым процессом. Рассмотрим основные свойства адаптивных систем [12]:

1) система должна быть интеллектуальной (принимать решения);

2) система должна иметь возможность изменяться, развивать свою структуру и параметры;

3) механизм адаптации системы самостоятельно может изменяться (развиваться) со временем.

4) система должна быть автономной (действовать и развиваться самостоятельно);

5) система должна быть адекватной в аварийных ситуациях (перестройка структуры во время рутинных операций);

Адаптация в видеоиграх может быть определена как способность игровой системы принимать адекватные решения на измененные или изменяемые обстоятельства игрового пространства. В видеоиграх различают два типа адаптивности [9, 10]: offline и online.

Offline адаптивность используется перед началом игрового процесса (формирование уровня игры, формирование сценария игры). Online адаптивность – изменение поведения NPCs в режиме реального времени. Базовая структура online адаптивной системы видеоигры представлена на рис. 6 [10].

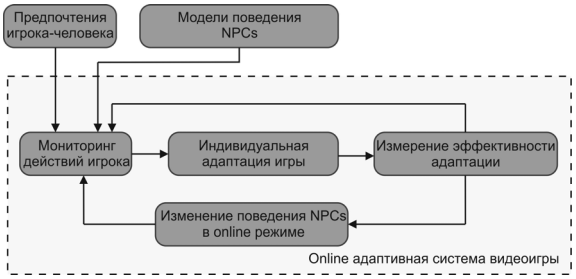


Рисунок 6 – Структурная схема online адаптивной системы видеоигры

Использование сложных сценариев развития игрового процесса, а также возможности современных игровых устройств вносят неопределенность в модели поведения NPCs. В данной статье для построения системы поведения NPC предлагается использовать адаптивные нечеткие логические системы на базе нечетких множеств второго типа [23, 24]. Существующие нечеткие системы поведения NPCs не учитывают индивидуальные (когнитивные) особенности игрока – человека. В результате этого, игровой процесс развивается по схеме, заложенной разработчиками в древовидной структуре поведения NPCs. Использование предопреде-

ленной структуры связано с повышением вычислительной сложности построения новой структуры в режиме реального времени.

Вычислительная сложность нечетких логических систем зависит в основном только от активизированных нечетких правил. Также, проведенный анализ показал, что на каждом этапе игрового процесса нет необходимости строить новую систему правил для формирования поведения NPC. Новые данные могут обновлять или менять не обязательно всю структуру системы, а скорее ее часть (одно или несколько нечетких правил). Добавление новых правил во время игрового процесса может повлиять на то состояние NPC, которое не было покрыто правилами при создании системы поведения разработчиками. Каждые новые данные, полученные в online режиме, обладают дополнительным описанием свойств системы, и могут быть использованы для активизации существующего или создания нового правила.

В данной работе, при построении адаптивной нечеткой логической системы поведения NPC, предлагается использовать следующие данные: когнитивные характеристики игрока – человека; параметры интересности видеоигры.

Когнитивные характеристики игрока-человека в полном объеме позволяют извлечь NUIs.

Для получения данных о интересности видеоигры, вводят критерии интересности, которые позволяют оценить уровень интересности игры для конкретного игрока-человека. Интересность видеоигры определяется с помощью методов оценки интересности видеоигр [25, 26]. Однако, на сегодняшний день нет общепринятых моделей и методов оценки интересности видеоигр. Большинство существующих подходов имеют интуитивный характер, без надлежащего понимания критериев, методов и инструментов, которые позволяют повысить интересность видеоигры, а разработанные математические модели применимы к играм определенного класса и жанра.

Актуальным является разработка методов оценки интересности видеоигр, основанных на оценивании новых форм взаимодействия игрока-человека с видеоигрой, например: жесты, эмоции, мимика лица, биометрические данные игрока-человека.

ВЫВОДЫ.

Из анализа приоритетных направлений развития информационных технологий в индустрии видеоигр установлено, что рост потребительского спроса видеоигр связан с применением NUIs в контуре управления игровым процессом. Особенностью NUIs является возможность фиксации когнитивной информации игрока-человека и обработка такой информации с помощью современных информационных технологий (например, SDK Kinect). Так как когнитивные характеристики игрока-человека обладают неопределенностью различной природы, а современные методы управления поведением NPCs не позволяют выделять и обрабатывать неопределенность такого рода, то для управления поведением NPCs перспективным является использование адаптивных моделей на базе нечетких множеств второго типа.

ЛИТЕРАТУРА:

1. G. De Prato. Born Digital /Grown Digital: Assessing the Future Competitiveness of the EU Video Games Software Industry /G. De Prato, C. Feijóo, D. Nepelski, M. Bogdanowicz, J.P. Simon. – Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2010. – 185 p.
2. DFC Intelligence. DFC Intelligence Forecasts Worldwide Video Game Market to Reach $81 Billion by 2016. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.dfcint.com/wp/?p=312/
3. Game Developer Research Reports. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://gamedeveloperresearch.com/reports.html.
4. Wigdor D. Brave NUI World: Designing Natural User Interfaces for Touch and Gesture (1st ed.) /D. Wigdor, D. Wixon. – Morgan Kaufmann, 2011. – 264 p.
5. Alex J. Champandard. AI Game Development: Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors. – New Riders Games, 2003. – 721 p.
6. Stephen E. Siwek. Video Games in the 21st Century: the 2010 repport. – Entertainment Software Association, 2010. – 28 p.
7. González-Calero P.A. Artificial Intelligence for Computer Games (1st ed.) /P.A. González-Calero, M.A. Gómez-Martín. – Springer, 2011. – 212 p.
8. Jie Jiang. The Application of AI for the Non Player Character in Computer Games /Jie Jiang, Yang Kuang, Haihui Shen //International Conference on Computational and Information Sciences (ICCIS). – 21-23 Oct. 2011. – Pp.1049-1050.

9. Lopes R. Adaptivity Challenges in Games and Simulations: A Survey /R. Lopes, R. Bidarra //IEEE Transactions On Computational Intelligence and AI In Games. – 2011. – Vol. 3, No. 2. – P.85-99.
10. Charles D. Player-centred game design: Player modeling and adaptive digital games /D. Charles, A. Kerr, M. McNeill, M. McAlister, M. Black, J. Kücklich, A. Moore, K. Stringer //Digital Games Research Conference 2005, Vancouver, BC, Canada. – June 16-20, 2005. – Pp.285-298.
11. Magerko B. Adaptation in digital games /B. Magerko //IEEE Computer Magazine. – 2008. – Vol. 41, No. 6. – Pp.87-89.
12. Gabrys B. Do Smart Adaptive Systems Exist?: Best Practice for Selection and Combination of Intelligent Methods /Gabrys B., Leiviskä K., Strackeljan J., 1st ed. – Springer, 2005. – 380 p.
13. P. Angelov. Evolving Intelligent Systems: Methodology and Applications /P. Angelov, D. Filev, N. Kasabov. – Wiley-IEEE Press, 2010. – 416 p.
14. Kasabov N. Evolving Intelligent Systems: Methods, Learning & Applications /N. Kasabov, D. Filev //International Symposium on Evolving Fuzzy Systems. – Sept. 2006. – P.8-18.
15. From Pong to PlayStation 3. Video games through the years /A. Monaco //The IEEE news source the institute. – 2011. – P. 8-10.
16. Game Developer Reveals Top 20 Publishers, Debuts 2009 Research. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.gamasutra.com/php-bin/ news_index.php?story=25506.
17. Техника & технологии. Украинский рынок разработки видеоигр: потенциал огромен, но реализован слабо. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.bagnet.org/news/tech/172412.
18. Andreoli R. Interactive 3D environments by using videogame engines /R. Andreoli, R. De Chiara, U. Erra, V. Scarano //Proceedings of Ninth International Conference on Information Visualisation. – 6-8 July 2005. – Pp.515-520
19. 100 Highest Rated Engines. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.moddb.com/engines/rated.
20. Alex J. Champandard. Understanding the Second-Generation of Behavior Trees – #AltDevConf. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://aigamedev.com/insider/tutorial/second-generation-bt.
21. Каргин А.А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы /А.А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.
22. IEEE Symposium on Computational Intelligence and Games Perth. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ieee-cig.org.
23. Петренко Т.Г. Пакет библиотек и среда поддержки нечётких дискретных интервальных логических систем второго типа /Т.Г. Петренко, О.С. Тимчук //Системы обработки информации. Сборник научных работ. – 2011. – №8 (98). – С.151-156.
24. Cognitive&Uncertainty Research Group. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dit2fls.com/projects.
25. Sweetser P. GameFlow: A Model for Evaluating Player Enjoyment in Games / P. Sweetser, P. Wyeth //ACM Computers in Entertainment. – 2005. – Vol. 3, No. 3. – Pp.1-24.
26. Browne C. Evolutionary Game Design /C. Browne, F. Maire //IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games. – 2010. – Vol. 2, No. 1. – Pp.1-16.

ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ РАНЖИРОВАНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ПРАВДОПОДОБНЫХ И ПАРАДОКСАЛЬНЫХ РАССУЖДЕНИЙ

УДК 519.234.6

КОВАЛЕНКО Игорь Иванович
д.т.н., профессор кафедры Программного обеспечения автоматизированных систем Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова.
Научные интересы: системный анализ, системы поддержки принятия решений.

ШВЕД Алена Владимировна
аспирантка кафедры интеллектуальных информационных систем Черноморского государственного университета им. Петра Могилы.
Научные интересы: методы анализа данных, прикладной системный анализ, системы поддержки принятия решений.
e-mail: helenashv@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время наиболее популярным методом для анализа экспертных оценок, полученных в шкале отношений, является метод анализа иерархий (МАИ), однако МАИ обладает рядом недостатков, к числу которых можно отнести следующие: с ростом числа сравниваемых попарно элементов ($n \geq 6$) достаточно часто трудно достигнуть высокого уровня согласованности локальных приоритетов; при большом числе сравниваемых объектов (n) возникает необходимость строить значительное число обратносимметричных матриц; МАИ не допускает неопределенности в суждениях экспертов (эксперт обязан проанализировать и попарно сравнить все элементы исходного множества анализируемых объектов/альтернатив).

Рассмотренные проблемы, присущие многим методам, основанным на попарном сравнении альтернатив, выдвигают задачу поиска новых подходов к анализу экспертных оценок, представленных в шкале отношений. Такие подходы должны также учитывать различные формы незнания [4], такие как неполнота, неопределенность, нечеткость, а также различные виды взаимодействия суждений (оценок) экспертов. В качестве одного из таких подходов может быть рассмотрена математическая теория свидетельств [2, 3, 5], позволяющая оперировать с суждениями экспертов, которые могут произвольным образом взаимодействовать между собой (объединяться или пересекаться), при этом структура таких суждений может иметь различный характер – они могут быть согласованными, совместимыми, рассыпанными, произвольными и т.д. Однако данная теория выдвигает два вида ограничений, накладываемых на множество исходных данных: все события (элементы множества исходных данных, альтернативы) должны быть исчерпывающими и взаимно исключающими, то есть множество исходных данных должно состоять из конечного числа уникальных (четко определенных) элементов.

Однако в реальных условиях не всегда удается достичь взаимной исключаемости элементов множества исходных данных, то есть не все элементы удается

уникально определить, такие элементы могут отражать смутные, неопределенные понятия и в некоторой степени перекрываться друг другом.

Математическим аппаратом, позволяющим корректно оперировать с такого рода видами неопределенности является теория правдоподобных и парадоксальных рассуждений (теория Дезера–Смарандаке, ТДС), предложенная в работах [6, 7].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является анализ видов взаимодействия элементов множества исходных данных и рассмотрение процедуры построения модели ранжирования групповых экспертных оценок в условиях многокритериальности на основе методов теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений.

Изложение основного материала. В нотации теории правдоподобных и прадоксальных рассуждений [6, 7] множество исходных данных (анализируемых объектов, явлений, альтернатив) $\Omega = \{\omega_i \mid i = 1, \ldots, n\}$ называется основой задачи. Множество основы задачи рассматривается как множество исчерпывающих элементов. На множестве основы задачи может быть выделено множество всех возможных подмножеств D^{Ω}, удовлетворяющих следующим условиям:

$$\begin{gathered} \varnothing, \quad \omega_1, \ldots, \omega_n \in D^{\Omega}; \\ \text{Если } X_i, X_j \subset D^{\Omega}, \\ \text{тогда } X_i \bigcap X_j \subset D^{\Omega} \text{ и } X_i \bigcup X_j \subset D^{\Omega}. \end{gathered} \qquad (1)$$

В число выделенных подмножеств входит пустое множество $\varnothing$, все элементы основы задачи $\omega_i \in \Omega$, а также возможные комбинации исходных элементов, построенные при помощи операторов $\bigcup$ и $\bigcap$.

В рамках данной теории поддерживается предположение о том, что взаимодействовать между собой могут не только выделенные на основе нескольких групп свидетельств (экспертов) подмножества основы задачи, но сами элементы основы задачи [6].

Рассмотрим возможные способы взаимодействия элементов ω_i основы задачи $\Omega = \{\omega_i \mid i = 1, \ldots, n\}$ [6].

Случай 1. Элементы основы задачи не перекрывают друг друга (рис.1), следовательно, соблюдаются условия исключаемости, и соответственно, исчерпываемости. В этом случае применима модель Демпстера–Шейфера, и имеет место равенство ($\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$):

$$m(\omega_1) + m(\omega_2\} + m(\omega_1 \cup \omega_2) = 1 \qquad (2)$$

В этом случае на пространстве Ω могут быть определены произвольные подмножества элементов $X_i \subseteq \Omega$, при этом отдельные подмножества X_i могут пересекаться в различной степени или быть полностью раздельными. Общее число возможных подмножеств Ω составит $\left|2^{\Omega}\right|$, где 2^{Ω} – множество представляющее собой совокупность всех подмножеств основы Ω, включая пустое множество $\varnothing$.

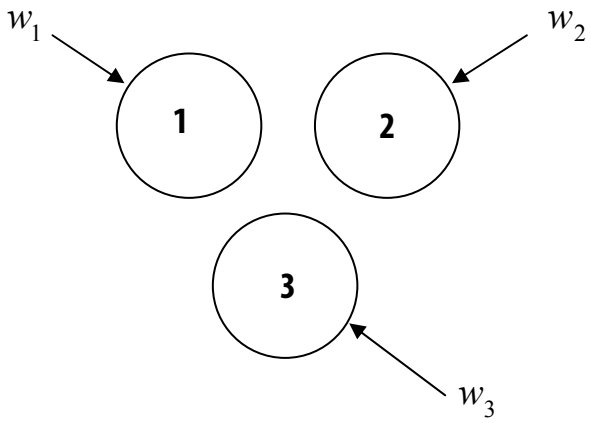


Рисунок 1 – Условное представление не перекрывающихся элементов основы задачи $\Omega = \{w_1, w_2, w_3\}$

Если $\Omega = \{w_1, w_2, w_3\}$, то число возможных подмножеств Ω составит $\left|2^{\Omega}\right| = 2^3 = 8$. Соответственно на основе одной группы свидетельств можно выделить следующие подмножества элементов $X_i \subseteq \Omega$, $i = \overline{1,8}$:

$X_1 =$ $X_3 =$ $X_5 = \{w$ $X_7 = \{w_2 \cup$

$X_2 = \{w_1$ $X_4 = \{w_3$ $X_6 = \{w$ $X_8 = \{w_1 \cup w_2 \cup$

Пример 1. Рассмотрим задачу ранжирования метрических характеристик качества программных продуктов (ПП). Пусть основа задачи включает в себя три характеристики качества ПП $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$, надежность, эффективность и модифицируемость, соответственно. Каждая из указанных характеристик включает в себя ряд подхарактеристик, в соответствии с деревом характеристик качества ПП Б.Боэма [1]:

Надежность = {согласованность, устойчивость, завершенность, точность, полнота функций}.

Эффективность = {оцениваемость, эффективность использования устройств, доступность}.

Модифицируемость = {расширяемость, структурированность}.

В данном случае соблюдаются условия исключаемости и взаимной исчерпываемости, что позволяет принять модель Демпстера–Шейфера.

Случай 2. Элементы основы задачи перекрывают друг друга (рис.2), соответственно условие исключаемости уже не поддерживается, и имеет место единственное предположение исчерпываемости.

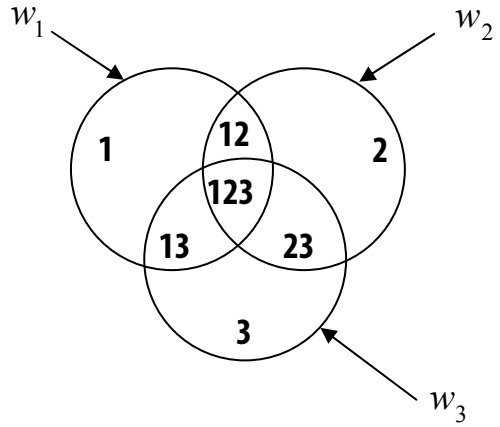


Рисунок 2 – Условное представление перекрывающихся элементов основы задачи $\Omega = \{w_1, w_2, w_3\}$

В этом случае применима свободная модель Дезера–Смарандаке, и имеет место равенство ($\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$):

$$m(\omega_1) + m(\omega_2\} + m(\omega_1 \cup \omega_2) + m(\omega_1 \cap \omega_2) = 1 \quad (3)$$

Если $\Omega = \{w_1, w_2, w_3\}$, то число возможных подмножеств D^{Ω} составит $\left|D^{\Omega}\right| = 19$. Соответственно на основе одной группы свидетельств можно выделить следующие подмножества элементов $X_i \subset D^{\Omega}$, $i = \overline{1,19}$:

$X_1 = \varnothing$;
$X_2 = \omega_1 \cap \omega_2 \cap \omega_3$;
$X_3 = \omega_1 \cap \omega_2$;
$X_4 = \omega_1 \cap \omega_3$;
$X_5 = \omega_2 \cap \omega_3$;
$X_6 = (\omega_1 \cup \omega_2) \cap \omega_3$;
$X_7 = (\omega_1 \cup \omega_3) \cap \omega_2$;
$X_8 = (\omega_2 \cup \omega_3) \cap \omega_1$;
$X_9 = \omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3$;
$X_{10} = \omega_1$;
$X_{19} = (\omega_1 \cap \omega_2) \cup (\omega_1 \cap \omega_3) \cup (\omega_2 \cap \omega_3)$.

Случай 3. Лишь некоторые элементы основы задачи перекрывают друг друга (рис. 3). Случай 3 является частным случаем **Случая 2** и соответствует гибридной модели Дезера–Смарандаке. В этом случае принимается предположение о введении некоторых ограничений на некоторые элементы X_i из D^{Ω}. В данном случае введено ограничение исключаемости, принимающее в расчет, что некоторые пересечения элементов $\omega_1, \ldots, \omega_n$ невозможны, на рис. 3 введены ограничения $\omega_1 \cap \omega_3 = \varnothing$ и $\omega_2 \cap \omega_3 = \varnothing$.

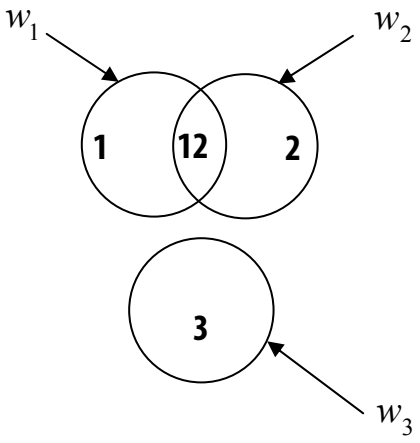


Рисунок 3 – Условное представление частично перекрывающихся элементов основы задачи $\Omega = \{w_1, w_2, w_3\}$

Если $\Omega = \{w_1, w_2, w_3\}$, то соответствующее ей множество всех возможных подмножеств D^{Ω}, учитывая введенные ограничения, составит:

$X_1 =$; $X_4 = \omega_2$; $X_7 =$; $X_{10} = \omega_1$.
$X_2 =$; $X_5 = \omega_3$; $X_8 = \omega_1 \cup$;
$X_3 =$; $X_6 = (\omega_1$; $X_9 = \omega_2 \cup$;
$X_{11} = \omega_2$;
$X_{12} = \omega_3$;
$X_{13} = (\omega_1 \cap \omega_2) \cup \omega_3$;
$X_{14} = (\omega_1 \cap \omega_3) \cup \omega_2$;
$X_{15} = (\omega_2 \cap \omega_3) \cup \omega_1$;
$X_{16} = \omega_1 \cup \omega_2$
$X_{18} = \omega_2 \cup \omega_3$

Пример 2. Пусть основа задачи включает в себя три характеристики качества ПП $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$, модифицируемость, понимаемость, тестируемость соответственно. Каждая из указанных характеристик включает в себя ряд подхарактеристик, в соответствии с деревом характеристик качества ПП Б.Боэма [1]:

Модифицируемость = {расширяемость, структурированность}.

Понимаемость = {четкость, сжатость, структурированность, согласованность}.

Тестируемость = {структурированность, полнота внутреннего описания, коммуникативность, доступность, оцениваемость}.

В данном случае предположение взаимоисключаемости принять невозможно, т.к. каждая из характеристик обладает подхарактеристикой «структурированность», вследствие чего отвергается модель Демпстера–Шейфера и принимается модель Дезера–Смарандаке.

Для получения возможных подмножеств D^{Ω} рассмотрим процедуру, предложенную в [6]. Пусть имеется множество $\Omega = \{\omega_i \mid i = 1,\ldots,n\}$ перекрывающихся элементов. На Ω может быть выделено $2^n - 1$ уникальных частей. Например, при $n = 3$ число таких частей составит $2^3 - 1 = 7$.

Через $< i >$ обозначим те части, которые принадлежат только одному элементу ω_i. Аналогично, обозначим через $< ij >$, $i < j$, $1 \le i < j \le n$, те части, которые принадлежат только двум элементам $\omega_i \omega_j$; через $<ijk>$, $i<j<k$, обозначим те части, которые принадлежат только трём элементам: $\omega_i \omega_j \omega_k$ и т.д. Соответственно, через $<12\ldots n>$ обозначим ту часть, которая принадлежит всем элементам.

Например, пусть имеется основа $\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$. Тогда получим множество возможных подмножеств, равное

$$u_2 = [< 1 >, < 2 >, < 12 >].$$

В случае, когда основа $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$, имеем

$$u_3 = [< 1 >, < 2 >, < 12 >, < 3 >, < 13 >, < 23 >, < 123 >]$$

Выделенная часть $< 13 >$ может обозначать как $\{\omega_1 \cup \omega_3\}$, так и $\{\omega_1 \cap \omega_3\}$, соответственно выделенная часть $< 123 >$ может обозначать любые сочетания элементов основы задачи при помощи операторов $\bigcup$ и $\bigcap$.

Согласно [6] выделенное подмножество $p_k \subset D^{\Omega}$ можно представить как линейную комбинацию элементов u_k

$$\mathrm{p}_k = [p_1, \ldots, p_{2^k - 1}] = D_k * u_k. \qquad (4)$$

При этом, каждая строка матрицы D_k представляет коэффициент D^{Ω} относительно u_k. Элементы матрицы D_k представляющие выделенные подмножества D^{Ω}, используются для проведения дальнейшего анализа.

Таким образом, для $n = 2$, имеем

$$\begin{bmatrix} p_1 = \omega_1 \cap \omega_2 \\ p_2 = \omega_1 \\ p_3 = \omega_2 \\ p_4 = \omega_1 \cup \omega_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 001 \\ 101 \\ 011 \\ 111 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} < 1 > \\ < 2 > \\ < 12 > \end{bmatrix}$$

$$\mathrm{p}_2 \qquad D_2 \qquad u_2$$

Приведем упрощенный алгоритм формирования элементов матрицы D_k, соответствующих выделенным подмножествам основы задачи:

На множестве элементов основы задачи Ω экспертом выделяются подмножества множества D^{Ω}, удовлетворяющие условиям (1). Случай, при котором выделены не все возможные подмножества соответствует гибридной модели Дезера–Смарандаке.

В соответствии с заданной основой задачи Ω формируется множество возможных подмножеств u_k, с числом возможных подмножеств (элементов) равным $2^k - 1$.

Рассчитываются элементы матрицы D_k, соответствующие исходным элементам основы задачи. Например, для $n = 2$, имеем

	$< 1 >$	$< 2 >$	$< 12 >$
ω_1	1	0	1
ω_2	0	1	1

На основе полученных значений, рассчитываются элементы матрицы D_k, для всех выделенных подмножеств основы задачи, в соответствии с условиями:

$\cup \to +; \qquad \cap \to *.$

Рассчитаем элементы матрицы D_2, соответствующие подмножествам $\{\omega_1 \cup \omega_2\}$ и $\{\omega_1 \cap \omega_2\}$:

	$< 1 >$	$< 2 >$	$< 12 >$
ω_1	1	0	1
ω_2	0	1	1
$\omega_1 \cap \omega_2$	0	0	1
$\omega_1 \cup \omega_2$	1	1	1

Таким образом, для $n = 2$ будет сформирована матрица D_2, вида:

$$D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Рассмотрим этапы построения модели ранжирования экспертных оценок на основе теории ТДС.

Пусть имеется основа задачи $\Omega = \{\omega_i \mid i = 1,\ldots,n\}$, состоящая из конечного числа перекрывающихся элементов – анализируемых объектов, альтернатив.

Процедуру построения модели можно представить в виде следующих итераций:

Выполнение структуризация задачи многокритериального принятия решений, в рамках которой определяется множество исследуемых объектов (альтернатив) $\Omega = \{\omega_i \mid i = 1,\ldots,n\}$ и множество экспертов $E = \{\Im_j \mid j = 1,...,k\}$, высказывающих свои предпочтения на множестве основы задачи.

Расчет коэффициентов компетентности экспертов в соответствии с выделенным набором профессиональных и личностных компетенций.

Построение свободной модели Дезера–Смарандаке посредством формирования (выделения) экспертом возможных подмножеств D^Ω. Эксперт, или ЛПР из множества оценочных элементов Ω выделяет некоторый элемент или группу элементов $X_j \subset D^\Omega$, в соответствии с (1), и устанавливает степень предпочтения этой группы в значениях заданной шкалы предпочтений.

Формирование элементов матрицы D_k на основе выделенных подмножеств. Введение различного рода ограничений. Если экспертом выделены (сформированы) не все возможные в каждом конкретном случае подмножества D^Ω, то такие подмножества могут быть рассмотрены как введенные ограничения модели (такие подмножества признаны несуществующими), что приведет к преобразованию свободной модели в гибридную.

Назначение или вычисление основных назначений уверенности [6, 7] выделенных экспертом соответствующих групп оцениваемых элементов $X_j \subset D^\Omega$, $m(\cdot) : D^\Omega \to [0,1]$:

$$m(\varnothing) = 0, \quad \sum_{X_j \subset D^\Omega} m(X_j) = 1. \tag{5}$$

Комбинирование основных назначений уверенности выделенных экспертами подгрупп оцениваемых объектов. В качестве правила комбинирования используется классическое правило комбинирования Дезера–Смарандаке [6, 7]:

$$m_{M^f(X)} = \sum_{\substack{X_1,\ldots,X_k \subset D^\Omega \\ X_1 \cap \ldots \cap X_k = X}} \prod_{i=1}^{k} m_i(X_i) \tag{6}$$

Результатом комбинирования являются результирующие основные назначения уверенности выделенных групп оцениваемых объектов и их всевозможные пересечения и объединения.

Расчет обобщенных функций уверенности $Bel(\{X\})$ и правдоподобия $Pl(\{X\})$ для каждой исходной альтернативы, или выделенной группы альтернатив $X \subset D^\Omega$ [6, 7]:

$$bel(X) = \sum_{\substack{B \subset X \\ B \subset D^\Omega}} m(B); \qquad pl(X) = \sum_{\substack{B \cap X \neq \varnothing \\ B \subset D^\Omega}} m(B) \tag{7}$$

Расчет функций производится на основе полученных результирующих (комбинированных) основных назначений уверенности выделенных групп оцениваемых объектов (включая их пересечения и объединения).

Установление относительного приоритета каждой из результирующих подгрупп оцениваемых элементов осуществляется путем сравнения полученных интервалов $[Bel(\{X_i\}), Pl(\{X_i\})]$, образованных функциями уверенностей и правдоподобия. Лучшей считается та альтернатива (группа альтернатив), у которой значения функции уверенностей и правдоподобия являются наибольшими среди аналогичных значений всех остальных интервалов.

Перевод интервальных оценок в точные:

$$Y(X_i) = \gamma \cdot Bel(\{X_i\}) + (1-\gamma) \cdot Pl(\{X_i\}),$$

где $\gamma \in [0,1]$ – коэффициент пессимизма, i=1,2…d; d – число результирующих подмножеств.

Формирование результирующей ранжировки выделенных подгрупп оцениваемых объектов (альтернатив):

$$\{X_1 \succ X_2 \succ \ldots \succ X_i \succ \ldots \succ X_d\}, \quad (8)$$

или

$$\{X_1 \succ X_2 \sim X_3 \succ \ldots \succ X_{i-1} \sim X_i \succ \ldots \succ X_d\}. \quad (9)$$

Получение строгой итоговой ранжировки выделенных подгрупп оцениваемых объектов вида (8) свидетельствует о наличии согласованности экспертных оценок.

Для более детального исследования можно вычислить функции уверенности и правдоподобия для всех результирующих подгрупп анализируемых объектов и принимать решение по значениям этих функций. Целесообразность их использования в принятии решений определяет ЛПР.

Рассмотрим предложенную методику построения модели на численном примере. Рассмотрим задачу ранжирования метрических характеристик качества программных продуктов (ПП) с целью выявления наиболее значимых показателей и определения количественных весовых значений рассматриваемых характеристик для дальнейшего формирования, с учетом полученных весов, обобщенного (интегрального) показателя качества ПП.

Пусть основа задачи включает в себя три характеристики качества ПП $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$ – надежность, модифицируемость и тестируемость. Предположим, что оценивание выполняется группой экспертов, состоящей из четырех человек. В результате экспертного оценивания получена информация:

Эксперт 1

$m(\omega_1) = 0.25$; $m(\omega_3) = 0.3$;
$m(\omega_2 \cap \omega_3) = 0.15$;
$m(\omega_2) = 0.15$;
$m(\omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3) = 0.15$.

Эксперт 2

$m(\omega_1) = 0.15$; $m(\omega_3) = 0.2$;
$m(\omega_2 \cap \omega_3) = 0.15$;
$m(\omega_2) = 0.3$;
$m(\omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3) = 0.2$.

Эксперт 3

$m(\omega_1) = 0.3$; $m(\omega_3) = 0.2$;
$m(\omega_2 \cap \omega_3) = 0.1$;
$m(\omega_2) = 0.35$;
$m(\omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3) = 0.05$.

Эксперт 4

$m(\omega_1) = 0.2$; $m(\omega_3) = 0.25$;
$m(\omega_2 \cap \omega_3) = 0.15$;
$m(\omega_2) = 0.1$;
$m(\omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3) = 0.3$.

На основе выделенных подмножеств может быть сформирована матрица D_3 вида

$$\begin{bmatrix} p_1 = \omega_1 \\ p_2 = \omega_2 \\ p_3 = \omega_3 \\ p_4 = \omega_2 \cap \omega_3 \\ p_5 = \omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1010101 \\ 0110011 \\ 0001111 \\ 0000011 \\ 1111111 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} <1> \\ <2> \\ <12> \\ <3> \\ <13> \\ <23> \\ <123> \end{bmatrix}$$

$\mathrm{p}_3 \qquad D_3 \qquad u_3$

Принимая во внимание тот факт, что выделены не все возможные подмножества основы задачи, соответственно принята гибридная модель Дезера–Смарандаке вида:

Выделенные экспертами подмножества ($\{\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_2 \cap \omega_2, \omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3\}$) составляют гибридную модель рассматриваемого примера. Подмножества, которые не были выделены экспертами, рассматриваются как введенные ограничения (например, $(\omega_2 \cup \omega_3) \cap \omega_1 = \varnothing$ и т.д.) и выбывают из дальнейшего анализа.

Для получения результирующих фокальных элементов (подмножеств) и соответствующих основных назначений уверенности используем классическое правило комбинирования Дезера–Смарандаке.

Результаты комбинирования:

$m(\omega_1) =$	$m(\omega_1 \cap \omega_2) =$	$m(\omega_1 \cap \omega_2 \cap \omega_3) =$
0.02405;	0.1021;	0.40684;
$m(\omega_2) =$	$m(\omega_1 \cap \omega_3) =$	$m(\omega_1 \cup \omega_2 \cup \omega_3) =$
0.02355;	0.11001;	0.00045.
$m(\omega_3) =$	$m(\omega_2 \cap \omega_3) =$	
0.0243;	0.3087;	

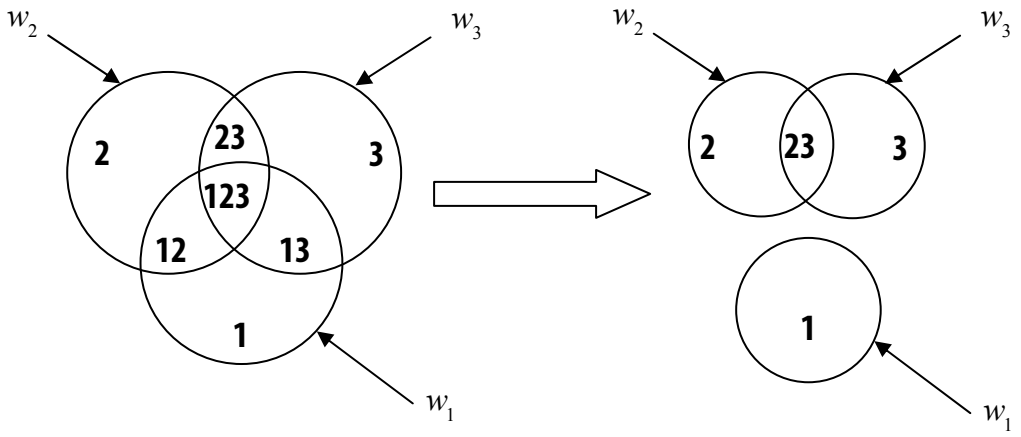


Рисунок 4 – Графическое представление модели задачи

Обобщенные основные назначения уверенности исходных элементов основы задачи, а также соответствующие значения функций уверенностей и правдоподобия приведены в табл. 1.

Таблица 1 –

Значения функций уверенностей и правдоподобия для исходных элементов основы задачи

№	ω_i	$m(\omega_i)$	$Bel(\omega_i)$	$Pl(\omega_i)$	$Y(\omega_i), \quad \gamma = 0.6$
1	ω_1	0.0241	0.0241	0.6435	0.2718
2	ω_2	0.0236	0.0236	0.8416	0.3508
3	ω_3	0.0243	0.0243	0.8503	0.3547

В результате проведенных численных расчетов получена обобщенная ранжировка исходных элементов основы задачи вида:

$$\{\omega_3 \succ \omega_2 \succ \omega_1\}.$$

ВЫВОДЫ

В статье была рассмотрена процедура построения модели анализа групповых экспертных оценок на основе методов теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений. Предложенный подход позволяет моделировать результаты экспертного оценивания с целью построения ранжировок групповых экспертных оценок в условиях наличия большого числа сравниваемых элементов (объектов). В основе построения модели лежит учет таких факторов, как информация об источниках данных (экспертах), формы взаимодействия экспертных суждений (согласованные, сопоставимые, произвольные и т.д.), высказанных на одном и том же множестве исходных данных, а также виды взаимодействия самих элементов основы задачи.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Боэм Б. Характеристики качества программного обеспечения /Б. Боэм, Дж. Браун, Х. Каспар [и др.]. – М.: Мир, 1981. – 208 с.
2. Beynon M.J The Dempster-Shafer theory of evidence: an alternative approach to milticriteria decisionn modeling /M.J. Beynon, B. Curry, P. Morgan //Omega. – 2000. – Vol. 28, №1. – P.37-50.
3. Dempster A.P. Upper and lower probabilities induced by a muilti-valued mapping /A.P. Dempster //Ann. Math. Stat. – 1967. – Vol. 38. – P.325-339.
4. Helton J.C. Uncertainty and Sensitivity Analysis in the Presence of Stochastic and Subjective Uncertainty /J.C. Helton //Journal of Statistical Computation and Simulation. – 1997. – Vol. 57. – P.3-76.
5. Shafer G. A mathematical theory of evidence /G. Shafer. – Princeton: Princeton University Press, 1976. – 297 p.
6. Smarandache F. Advances and applications of DSmT for Information Fusion /F. Smarandache, J. Dezert //American Research Press. – 2004. – Vol. 1. – 438 p.
7. Smarandache F. Advances and applications of DSmT for Information Fusion /F. Smarandache, J. Dezert //American Research Press. – 2006. – Vol. 2. – 461 p.

ДИНАМИКА ИНФОРМАЦИОННО УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

УДК 62-52

ЛУБЯНЫЙ Виктор Захарович
.т.н., профессор кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: автоматизация процессов управления.

БРАЖНИК Дмитрий Александрович
старший преподаватель кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: информационные технологии.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование современных производственных комплексов требует развития методов управления сложными организационно-техническими системами. Для описания сложных организационно - технических систем используется понятие информационно-управляющая система [1, 2], как взаимосвязанная совокупность средств, методов и персонала, используемых для хранения, обработки выдачи информации в интересах поставленной цели. Однако сложность связей и разнородность объектов усложняет анализ и синтез данных систем.

Постановка задачи. Рассматривая информационно-управляющую систему, в узком смысле, как систему управление в которой формируется на основе обработки информации, определяем ее структурные особенности и динамические свойства.

Цель статьи. Основываясь на понятии информационного пространства и свойствах технической части системы, ставится задача анализа структурных и динамических свойств информационно-управляющей системы.

Информационное пространство. Собственно само установившееся название данного класса систем определяет интерес к информации как основе функционирования системы. Однако следует обратить внимание на явное несоответствие ожиданий возлагаемых на информационный подход и результатов. Само определение количества информации вызывает трудности, так количество информации измеряют различными мерами вплоть до количества бумажек плодимых отделами и службами предприятий.

Возвращаясь к предложенной Хартли мере информации [3], видим, что в основе меры измерения информации лежат предположения о зависимости вероятности от информации $P=P(I)$ и пропорциональности скорости изменения вероятности по информации от текущей вероятности. Как следствие получаем уравнение органического роста с экспоненциальным решением и логарифмическую зависимость информации от вероятности [4].

Таким образом, основой рассуждения явилась аналитичность функции описывающей вероятность в зависимости от информации

$$P = P_0 + \frac{1}{1!}\frac{dP}{dI}_{|I=I^*} \Delta I + \frac{1}{2!}\frac{d^2P}{dI^2}_{|I=I^*} \Delta I^2 + \ldots R \quad . \tag{1}$$

Для закона органического роста

$$\frac{\partial P}{\partial I} = \lambda P \, . \tag{2}$$

Откуда можно определить связь вероятности и информации интегрированием уравнения (2), что дает известную меру Хартли

$$\lambda = \frac{1}{\log_a e}; \qquad I = -\log_a P. \tag{3}$$

Собственно мы получили ответ на вопрос почему мера Хартли годится только для случая когда справедливо предположение о органическом росте, действительно в других случаях эта гипотеза не выполняется.

Из приведённых рассуждений следует, что информация является по сути дела причиной событий и информационное пространство определено на множестве событий. Естественно определять свойства информационного пространства через свойства пространства событий.

Предположим, что для множества событий X существует линейное нормированное метрическое пространство с нормой $\|x\|$ и метрикой a(x_1, x_2). Предположим существование линейного отображения элемента *y* из пространства Y в пространство X с элементами *x*

$$\Gamma : y \to x. \tag{4}$$

При этом элемент из пространства X измеряем. В этом случае для не отрицательного *y* на основе связи (4) справедливо

$$\Gamma : \|y\| \to \|x\|. \tag{5}$$

Для взаимно однозначного отображения Г (5), существует обратное отображение Г-1 и следовательно норму для пространства Y возможно выразить через норму в пространстве X для которого имеется возможность измерения

$$\Gamma^{-1} : \|x\| \to \|y\|. \tag{6}$$

В таком случае отображение (6) должно удовлетворять условиям не отрицательности

$$\Gamma^{-1} : \|x\| \geq 0. \tag{7}$$

И в силу линейности преобразования (5) можно записать умножение на константу

$$\alpha = const, \qquad \Gamma^{-1} : \|\alpha x\| \to \frac{1}{|\alpha|}\|y\| \tag{8}$$

.

И из условия треугольника следует что условие треугольника справедливо и для обратного преобразования

$$\Gamma^{-1} : \|x_1 + x_2\| \leq \Gamma^{-1}\|x_1\| + \Gamma^{-1}\|x_2\| \tag{9}$$

.

Аналогично определяется метрика в пространстве Y из пространства X.

Естественно при умножении на константу (8) в силу линейности имеем

$$\Gamma^{-1} : \|a_1 x_1 + a_2 x_2\| = \frac{1}{|a_1|}\|y_1\| + \frac{1}{|a_2|}\|y_2 \tag{10}$$

.

Тогда для пар x_1, y_1 и x_2,y_2 для метрики порождённой нормой

$$a(y_2, y_1) = \|y_2 - y_1\|, \tag{11}$$

существует метрика в пространстве Y

$$\Gamma^{-1} : a(x_2, x_1) \to a(y_2, y_1). \tag{12}$$

Метрика (12) удовлетворяет аксиомам метрики

$$\Gamma^{-1} : a(x_2, x_1) \to a(y_2, y_1).$$

$$\Gamma^{-1} : a(x_2, x_1) \to a(y_2, y_1) = 0 \Leftarrow$$

.

$$\Gamma^{-1} : a(x_2, x_1) = \Gamma^{-1} : a(x_1, x_2) \tag{13}$$

.

$$\Gamma^{-1} : a(x_1, x_3) \leq \Gamma^{-1} : a(x_1, x_2) +$$

.

При этом используя предположение о аддитивности, получаем

$$\|x_1 - x_2\| = a(x_1, x_2). \tag{14}$$

В этом случае, для обратного преобразования (7), получаем

$$\Gamma^{-1}\|x_1 - x_2\| = a(y_1, y_2). \tag{15}$$

Таким образом может быть введено в рассмотрение, нормированное метрическое информационное пространство. Так для стохастического процесса имеем норму и метрику

$$\|\omega_i\|_I = -\log_\alpha P_i = I(\omega_i);$$
$$\alpha(\omega_i, \omega_j)_I = -\log_a P(\omega_j / \omega_i); = I(\omega_j / \omega_i). \tag{16}$$

Однако в задаче управления существует реальный критерий J оценивающий качество системы, зависящий от значительного количества параметров, вектора состояния, возмущений, управлений и так далее. С

другой стороны, исходя из связи информации и движения в системе, можно записать ряд (1) в виде

$$J = J_0 + \frac{1}{1!}\frac{dJ}{dI}_{|I=I^*} \Delta I + \frac{1}{2!}\frac{d^2J}{dI^2}_{|I=I^*}\Delta I^2 + ...R \quad . \tag{17}$$

Тогда оператор связи (2) может быть определен в виде

$$\frac{dJ}{dI} = f(\lambda, J, I). \tag{18}$$

В простейшем, но существенном, случае постоянства чувствительности функции цели к информации при J=0 при I=0 получаем

$$\frac{dJ}{dI} = C. \tag{19}$$

Тогда связь между информацией и критерием качества принимает вид

$$I = \frac{1}{C}J. \tag{20}$$

Собственно в данном случае постулируется простое утверждение - если нет реакции на действие то данное действие, указание, управление и т.д. не содержит информации. Спорить с данным утверждением можно но, только не ознакомившись с практикой управления организационными структурами.

С другой стороны при допущении (1) мы просто переходим от оценки информативности к оценке полезности, что не лишено смысла, однако в информационном пространстве управление является результатом принятия решения.

Таким образом, мы получили множество оценок информации, как вполне определенных элементов с известным способом измерения величины элемента и расстояния между элементами.

Говоря о структуре данного множества, определяющей свойства информационного пространства, определим свойства операций необходимых для процедуры принятия решения.

Сохранение нуля в информационном пространстве, свойство определяющее причинно-следственные связи между пространством событий и информационным пространством

$$I = \frac{1}{C}J; \quad I = 0 \leftrightarrow J = 0. \tag{21}$$

Условие (8) определяет потерю информативности постоянным сообщением, свойство определяющее снижение ценности неизменного сообщения

$$J = const; \quad J \leftrightarrow I; \quad \frac{1}{C}\sum_1^n J = \frac{n}{C}J \to \frac{1}{n}I. \tag{22}$$

1. Накопление информации при накоплении сигнала при выполнении условия сходимости в среднем для информационного пространства

$$\frac{1}{C}\sum_1^n J_i \to H = \sum_1^k P_i I_i. \tag{23}$$

2. Сохранение накопленной информации при постоянном сообщении, свойство, связанное с обучением и накоплением информации повторение полученного сообщения не увеличивает ожидаемой информации

$$H = \sum_1^n \frac{1}{n} I = I. \tag{24}$$

3. Определение взаимной информации как критерия адекватности информации модели информации во внешней среде

$$I_{\Delta y} = \frac{1}{C}(J_y - J_{y^*}); \quad I_{\Delta y} = 0 \leftrightarrow J_y = J_{y^*}. \tag{25}$$

4. Нормирование информации естественно связано с особенностями решаемой задачи, так для безразмерной оценки информации константа определяется как максимальный модуль критерия

$$C = \max|J|. \tag{26}$$

При оценке объёма входной информации V_I в битах получаем при нормировании $C=1/V_I$ удобную оценку информативности сообщения, что позволяет оптимизировать фильтрацию входных сообщений. Естественно возможно использование рисков при нормировании.

Естественно при многомерной системе критерий может быть вектором, что при линейности не усложняет задачу.

Структура информационно управляющей системы. Исходя из описания динамической части системы и ее линеаризации

$$\dot{\mathbf{x}} = A\mathbf{x} + B\mathbf{u} + D\mathbf{g}; \qquad (27)$$

Однако информация является обобщённой характеристикой и позволяет выделить наиболее общие закономерности в системе.

Рассмотрим структуру замкнутой информационно управляющей системы, рис. 1, выделив связи формирующие контур принятия управляющего решения. В этом контуре выделим информацию поступающую из внешней среды I_g, информацию генерируемую контуром управления системой I_ω*, на основе накопленной в модели информации о ранее принятых решениях I_U, информации оценки отклонения входной информации и информации генерируемой системой $I_{\Delta y}$, информации о состоянии системы I_y, информации от эталонной модели и о отклонении состояния от желаемого состояния $I_{\Delta y}$ и оценку отклонения входной информации от управляющей информации I_ε.

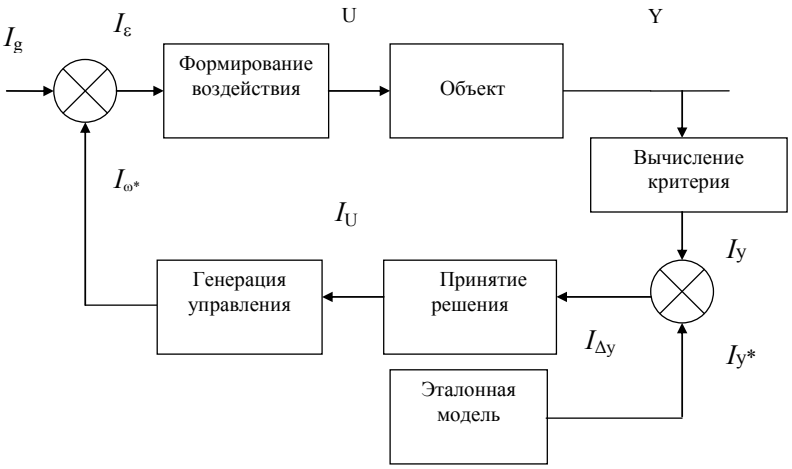


Рисунок 1 – Структура замкнутой информационно управляющей системы

Множествами, на которых определяется информация, является множество воздействий внешней среды G, состояний X, управлений U и выходов Y системы. Элементы данных множеств могут быть измерены.

Учитывая, что принятие решения происходит с определенным запаздыванием τ, получаем модель системы, управление в технической части которой, формируется на основе информации.

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = A\mathbf{x}(t) + B\mathbf{u}(t-\tau, I_{\Delta y}) + D\mathbf{g}(t); \qquad (28)$$

А управление в информационном контуре системы формируется как принятие решения о адекватности информации порождаемой технической частью системы и информации о внешней среде информации порождаемой моделью системы.

$$I_\omega \to \min I_{\Delta y} \qquad (29)$$

При этом система из за задержек в принятии управляющих решений, переходит в класс систем с распределёнными параметрами [5].

Таким образом, получаем модель динамики функционирования системы с организационной и аппаратной частью, причем динамика всей системы определяется моделью динамики аппаратной части с включением в неё запаздывания по управлению, возникающее в организационной части системы.

Так как теперь система принятия решения включена в контур управления на неё распространяются требования широко известные в теории систем управления, а именно система принятия решения должна содержать контур анализа прошлого – сглаживание, канал управления по текущему состоянию – фильтрация и канал прогноза будущего состояния. Второй особенностью информационной системы является необходимость компенсации задержки в системе принятия решения, что требует включения в состав системы упредителя.

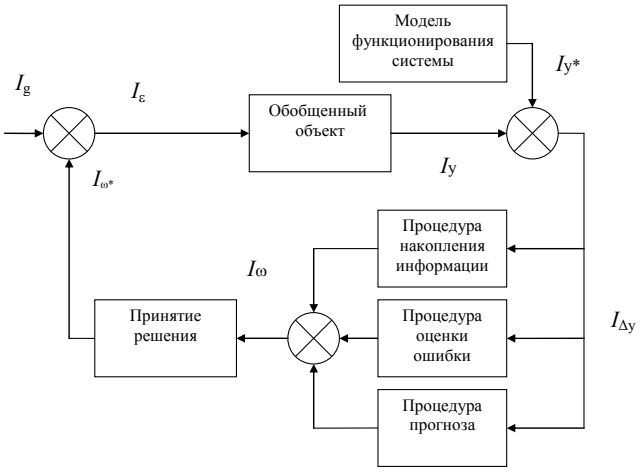


Рисунок 2 – Структура каналов информационной системы управления

Таким образом, управление формируется на основе взаимной информации между возмущениями внешней среды и управлениями, и управление снимается при нулевой взаимной информации, В контуре управления формируется задержка, которую необходимо компенсировать, контур управления содержит попросту ПИД регулятор.

Следовательно при синтезе системы решаются следующие задачи:

1.Формализация устранения ошибки статизма в информационных системах – идентификация модели. В данном случае ошибка статизма появляется как недостаточность информации в контуре принятия решения или не точность модели

$$I_{y*}(H, I_y) \to \min I_{\Delta y}. \qquad (30)$$

2.Оптимальное управление информационными системами с технической частью и критерием J

$$\begin{aligned} &u^*, I_\omega^* \to \min J; \\ &J = J(y,u); \quad . \\ &\dot{x} = \phi(x, \dot{x}, u, g). \end{aligned} \qquad (31)$$

3.Прогноз и компенсация запаздываний в информационных системах как задача накопления информации в контуре обратной связи, достаточной для точного прогноза поведения системы на интервале t+τ

$$H^* \to \min I_{\Delta y}(t+\tau). \qquad (32)$$

Использование информационного пространства для описания информационно-управляющей системы позволяет сформировать необходимые условия инвариантности системы как структурное требование замкнутости информационного контура и параметрическое условие как достаточность информационной мощности канала обратной связи для компенсации входного потока информации.

Выводы.

1. Информация является причиной действия.
2. Информационная мера может быть построена по отношению к любому аналитичному критерию.
3. Информационная мера зависит от закона распределения или чувствительности выбранного критерия к информации.
4. Не существует единого метода определения информации для любого случая.
5. Многократное повторение сигнала несущего информацию снижает полученную системой информацию.
6. Динамика информационно-управляющей системы зависит от запаздывания в принятии решения.
7. Система информационного управления должна содержать ПИД регулятор и при значительных запаздываниях должна иметь упредитель.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Степанова А.С. Анализ развития информационно-управляющих систем с использованием научно-технологического форсайта /А.С. Степанова, Д.Ю. Муромцев //Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – Т.11, №5 (2). – С.354-375.
2. Семенов М.И. Автоматизированные информационные технологии в экономике: учеб. для вузов /М.И. Семенов, И.Т. Трубилин, В.И. Лойко, Т.П. Баратовская; Под. общ. ред. И.Т. Трубилина. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
3. Симанков В.С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов /В.С. Симанков, Е.В. Луценко. – Краснодар: Техн. ун-т Кубан. гос. технол. ун-та, 1999. – 318 с.
4. Дмитриев В.И. Прикладная теория информации: Учеб. для студ. вузов по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления». – М.: Высш. шк., 1989. – 320 с.
5. У. Рей Методы управления технологическими процессами: Пер. с англ. /Рей У. – М.: Мир, 1983. – 368 с.

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНТЕРФЕЙСАХ

УДК 681.518

ТКАЧ Вера Алексеевна
старший преподаватель кафедры «Основы конструирования» Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: информационные технологии и системы обработки данных.

РОЖКОВ Сергей Александрович
к.т.н., доцент кафедры Технической кибернетики Херсонского национального технического университета.
Научные интересы: управление в сложных технических системах, системы распознавания

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В современных системах управления процесс обработки информации определяется как получение требуемых данных, что может выступать как единственная цель процесса обработки. Это свойство характерно для класса систем искусственного интеллекта, в составе которых присутствует база знаний и схема управления.

При этом интерфейсы современных SCADA-систем позволяют оператору автоматизированного рабочего места (АРМ) осуществлять управляющие действия для обслуживаемой им системы за достаточно короткий интервал времени. Однако для эффективного управления АРМ требуется большое количество разных алгоритмов деятельности оператора и при этом следует учитывать, что большую часть информации оператор получает визуально, а нагрузка на оператора распределяется неравномерно.

В задаче создания интеллектуального интерфейса важно определить понятие информативности изображения, которое в данном случае связано с понятием полезности. Под информативностью изображений, по Шеннону [1, 5], следует понимать снятую неопределенность наших знаний о графическом объекте, сцене.

Основной материал. Известно [1], что в случае, когда взаимные деформации элементов сцены в трехмерном пространстве не допускаются, сцену можно рассматривать как твердое тело, а движениям плоскости соответствует евклидова подгруппа, содержащая лишь преобразования сдвига и поворота

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \mathbf{R}\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \mathbf{t}\ , \qquad (1)$$

где $\mathbf{R} = \begin{pmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix}$ – матрица поворота на угол ϕ и $\mathbf{t} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix}$ – вектор сдвига.

Замена матрицы вращения на общую невырожденную матрицу $\mathbf{A}$ позволяет получить

$$x' = ax + by + c\ ,$$
$$y' = dx + ey + f\ .$$

В матричном виде

$$\mathbf{x}' = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{c}\ ,\ \mathbf{x}' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix},\quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a & b \\ d & e \end{pmatrix},\ \mathbf{c} = \begin{pmatrix} c \\ f \end{pmatrix}.$$

Вычислить параметры обратного преобразования $\begin{matrix} x = Ax' + By' + C\ , \\ y = Dx' + Ey' + F \end{matrix}$ можно, решив систему (1)

$$A = \frac{e}{\mathbf{detA}}\ ,\ B = \frac{-b}{\mathbf{detA}}\ ,\ C = \frac{(bf - ec)}{\mathbf{detA}}\ ,$$
$$D = \frac{-d}{\mathbf{detA}}\ ,\ E = \frac{a}{\mathbf{detA}}\ ,\ F = \frac{(cd - af)}{\mathbf{detA}}\ .$$

В случае, когда при получении алфавита образов V для набора типовых сцен S функционалом цели является время на принятие решения, задача сводится

к определению оптимума времени T_{np}, т.е. на поиск условий, при которых время на принятие решения будет минимальным:

$$T_{np} \to \min ,$$

$$s_{ij} \in S, \quad i = 1,...,I; \quad j = 1,...,J,$$
$$v_{kl} \in V, \quad k = 1,...,K; \quad l = 1,...,L,$$

где s_{ij} – типовая сцена, v_{kl} – элементы изображения, n – множество типовых сцен.

При предъявлении изображения возможны его искажения (рис. 1).

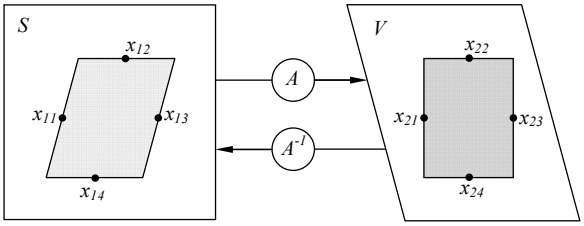


Рисунок 1 –Предполагаемая аффинность искажения

Каждой точке x_{ij} пространства можно поставить в соответствие точку $f(x_{ij})$, имеющую те же координаты относительно «новой» системы координат, что и x_{ij} в исходной, поэтому можно предполагать аффинность этих искажений [1].

В этом случае для плоских изображений существование обратной матрицы A^{-1}, которая обеспечивает устранение возмущений и определяет близость элементов s_{ij} и v_{kl}. Если изображение плоское, то необходимо решение системы четырех уравнений:

$$\vec{x}_1 = A^{-1}\vec{x}_1^* \qquad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} \widetilde{x}_{11} &= a_{11}x_{11} + a_{12}x_{12} \\ \widetilde{x}_{12} &= a_{12}x_{11} + a_{22}x_{12} \\ \widetilde{x}_{21} &= a_{11}x_{21} + a_{12}x_{22} \\ \widetilde{x}_{22} &= a_{21}x_{21} + a_{22}x_{22} \end{aligned}\right\},$$

что в решении дает

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & 22 \end{pmatrix} = A^{-1} .$$

Все изображение при этом может быть откорректировано матрицей A^{-1}. В случае, когда возникает ошибка между анализируемым изображением и преобразованным сигналом

$$\vec{\varepsilon} = \vec{x} - A^{-1}\widetilde{x} , \qquad (3)$$

ε – может стать мерой близости изображений.

Следовательно, можно выбрать среднеквадратическое расстояние

$$\left|\vec{\varepsilon}\right|^2 = D .$$

Тогда задача о максимальном быстродействии может быть представлена как $A^{-1*} \to \min T$, т.е. при заданных ограничениях достаточно решение системы (2) для всего изображения.

В случае, когда каждый отдельно рассматриваемый кадр изображения имеет различные элементы, требующие принятия частных решений, то целесообразно рассматривать задачу минимизации рисков при принятии частных решений.

Тогда формируется задача определения среднего риска, который должен быть минимальным:

$$\overline{C} \to \min ,$$
$$A = A^{-1*} .$$

Предположим, что изображение имеет n – фрагментов и каждому n_i соответствует вероятность P_i и штраф C_i.

Причем последовательность анализа новой, неизвестной сцены базируется на движении к фрагментам с максимальной дисперсией или отклонением (4) [2], а в известной сцене – к фрагментам с минимальным штрафом (5):

$$\nabla\sigma^2 \to 0 \qquad (4)$$
$$\nabla\overline{C} \to 0 \qquad (5)$$

Если источник изображения формирует (генерирует) образы $\vec{I}_0$ с определенными вероятностями, то приемник изображения выдвигает гипотезы $\vec{I}_n$ из заданного алфавита с соответствующими вероятностями. Степень достоверности гипотезы $\vec{I}_n$ определяется расстоянием между образом, реализованным источником и гипотезой приемника [3, 4]. Задачи оптимального управления могут быть связаны моделями систем, показанных на рис. 2, 3.

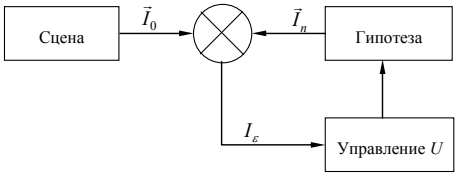


Рисунок 2 –Модель оптимальной системы компенсации

В этом случае качество исходного изображения определяется скоростью сходимости управления u и формированием (генерированием) гипотезы [4].

При этом следует учитывать, что:

1) отклонение изображений и модели должно оцениваться по критерию – сильному оптимуму, что позволит получить лучшее решение

$$I = \max\left|X - \widetilde{X}\right|;$$

2) предполагаем определение области размещения фрагмента – по дисперсии или (и) логически;

3) проверка близости изображения и гипотеза ведется по существованию аффинного преобразования [1].

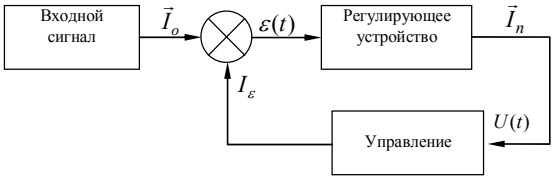


Рисунок 3 – Модель системы взаимодействия с обратной связью

Изображение представляется в виде матрицы, сравнивается с требуемым значением a_{ij} и выявляющиеся при этом отклонения ε преобразуется в управляющее воздействие $U(t)$, которое формируется как функция отклонения ε, и влияя на объект, стремится уменьшить или устранить это отклонение.

При получении изображения – информации, его анализ (восприятие) выполняется фрагментарно, т.е. для сложных изображений в начальный момент времени информации, поступающей на монитор, больше, чем может воспринимать оператор

$$I_s > I_e \ ,$$

где I_s – количество информации, которое возможно воспринять в начальный момент времени, I_e – количество информации воспринимаемое в единицу времени.

Чтобы решить задачу согласования, передаваемое изображение необходимо сократить [6]

$$F_e T_e D_e \geq F_s T_s D_s \ ,$$

где F – полоса частоты, T – время восприятия (передачи), D – динамический диапазон.

Для задачи обработки информации наиболее удобен алгоритм JPEG, так как при этом нет разрывов при дифференцировании [6].

Предположив, что ошибка восприятия информации экспоненциально убывает по времени восстановления изображения:

$$\varepsilon(t) = \vec{\varepsilon}_0 e^{-\alpha t} \ ,$$

что ведет к предположению линейной связи

$$\frac{d\vec{\varepsilon}}{dt} = A_\varepsilon \vec{\varepsilon} + B_\varepsilon \vec{u} \ .$$

Таким образом, получаем динамическую модель управления

$$\dot{\vec{x}} = A\vec{x} + B\vec{u} \ ,$$

в которой время принятия решения должно быть минимальным $T \to \min$, а управление и состояние системы в произвольный момент времени $\vec{u}^*, \vec{x}^* \to \min T$. Таким образом: $\vec{x}(t_0) = \vec{x}_0$.

Рассматривая эту модель, как управляемую динамическую систему, можно определить оптимальное управление в смысле минимизации времени переходного процесса.

В данном случае целевой функционал

$$J(\mathbf{x}, \mathbf{u}, t) = T = \int_0^T dt \ . \qquad (6)$$

Используя принцип максимума Понтрягина [5], управляемость системы и вид функционала цели гарантирует применимость принципа максимума. Функция Гамильтона в данном случае имеет вид:

$$H(\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\lambda}, t) = \lambda_0 + \left\langle \boldsymbol{\lambda}, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u}) \right\rangle \qquad (7)$$

При этом условие стационарности по управлению не могут быть выполнены в виду линейности функции Гамильтона по управлению:

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = B\boldsymbol{\lambda} \neq \mathbf{0}.$$

Однако, вводя ограничение на управление $a_i \leq u \leq b_i$, $i = 1,2,...,m$, и учитывая, что в задаче линейного программирования оптимум лежит на границе, можем найти последовательность управлений U_j, каждый из элементов которой принадлежит границам управления и обеспечивает условие стационарности.

Аналогично удовлетворяется собственно принцип максимума:

$$\mathbf{u}^* \to \max H(\mathbf{x}^*, \mathbf{u}, \boldsymbol{\lambda}^*, t) = \quad (8)$$
$$= \max\{\lambda_0 + \langle \boldsymbol{\lambda}, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u}) \rangle\} = 0 ,$$

как линейная задача на множестве граничных управлений U_j, следовательно, для получения оптимального быстродействия необходимо задействовать весь ресурс управления.

Учитывая, что в этом случае управление будет иметь $n+1$ интервал знакопостоянства, или в нашем случае – интервал концентрации внимания. С другой стороны, необходимо выполнение условия стационарности по управлению

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = \vec{\mathbf{0}}.$$

Введя в функционал цели затраты на управление, и учитывая его неотрицательность, получим

$$J = T + \int_0^T u^2 dt \ . \quad (9)$$

Тогда функция Гамильтона приобретает вид

$$H = \lambda_0 + u^2 + \langle \boldsymbol{\lambda}, (A\mathbf{x} + B\mathbf{u}) \rangle. , \quad (10)$$

В свою очередь, условие стационарности дает

$$\frac{\partial H}{\partial \mathbf{u}} = 2\vec{u} + \langle \lambda^T B \rangle = \vec{\mathbf{0}}, \quad (11)$$

откуда $\mathbf{u}^* = B\vec{\lambda}$, так как $\lambda = \frac{\partial J}{\partial X}$, где X – траектория движения.

Таким образом, получаем управление, определяемое чувствительностью функции цели по траектории анализа изображения.

ВЫВОДЫ

При представлении изображения для анализа, коррекцию возмущений целесообразно выполнить в виде аффинного преобразования, что позволяет значительно сократить объем вычислений.

Задача восприятия изображения может быть рассмотрена как задача оптимального управления с функционалом цели, зависящим от времени и затрат управления на анализ изображения.

При анализе системы управления необходимо учитывать изменения полосы частот, которые занимает анализируемое изображение и сжатое изображение, что позволяет распределить время генерации фрагментов изображения.

Восприятие оператора может быть аппроксимировано линейным приближением с порядком матрицы объекта, равным количеству фрагментов изображения.

Управление в данной задаче подчиняется правилу о n-интервалах и зависит от распределения чувствительности функции цели к траектории анализа изображения.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Грузман И.С. Цифровая обработка изображений в информационных системах: Учебное пособие /И.С. Грузман, В.С. Киричук, В.П. Косых, Г.И. Перетягин и др. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. – 352 с.
2. Гренандер У. Лекции по теории образов /У. Гренандер: в 3-х т. – Т.1. Синтез образов; под ред. Журавлева, пер.с англ. И. Гуревича, Т. Дадашева. – М.: Мир, 1979. –384 с.
3. Гренандер У. Лекции по теории образов /У. Гренандер: в 3-х т. – Т.2. Анализ образов; под ред. Журавлева, пер.с англ. И. Гуревича. – М.: Мир, 1981. – 448 с.
4. Бражник Д.А. Информационная модель инвариантной системы распознавания /Д.А. Бражник, Ф.Б. Рогальский, В.А. Ткач //Проблемы информационных технологий. – 2009. – №1 (005). – С.31-37.
5. Справочник по теории автоматического управления /А.А. Красовский; под. ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, Гл.ред.физ.-математ. лит., 1987. – 712 с.
6. Ватолин Д. Методы сжатия данных. Устройство архиваторов, сжатие изображений и видео /Д. Ватолин, А. Ратушняк, М. Смирнов, В. Юкин. – М.: Диалог-МИФИ, 2003. – 384 с.

КОНЦЕПЦІЯ АДАПТИВНОГО МОВЛЕННЯ ТА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ ПІДГОТОВКИ КОНТЕНТУ

УДК 004.7:004.272.26

ГАЛКІН Олександр Володимирович
к.ф.-м.н., доцент кафедри інформаційних систем Київського національного університету імені Тараса Шевченка.
Наукові інтереси: методи об'єктно-орієнтованого програмування, системи штучного інтелекту, Java.
E-mail: galkin@unicyb.kiev.ua

ВСТУП

Загальновідомим є той факт, що більшість користувачів мережі Інтернет знають про сервіси онлайн-трансляції медіа і користуються ними. До найбільш популярних можна віднести такі проекти, як YouTube та його російський аналог RuTube. Але жоден з них не враховує проблеми «останньої милі», тобто швидкість передачі каналу користувача фізично не дозволяє програвачеві відтворювати та завантажувати медіа-контент високої якості, який доступний на сторінках відео сервісів. Варіанти вирішення даної проблеми викладені в концепції адаптивного мовлення. На відміну від традиційного мовлення, в процесі відтворення контенту враховуються умови, в яких знаходиться кінцевий користувач, тобто його поточна пропускна швидкість мережі. Якщо швидкість з'єднання недостатня, то якість зображення зменшується і навпаки, якщо є можливість перегляду медіа кращої якості, то відбувається перехід на вищу якість даних. Існує багато варіантів реалізації технології адаптивного мовлення, зокрема таким є трансляція на сервері потокового медіа двох потоків певного контенту з різними показниками якості та використання кадрів з потоку вищої якості та нижчої в залежності від умов на стороні клієнта [1]. Не менш цікавим є варіант трансляції контенту з використанням кодування в реальному часі, коли зміна показників якості контролюється ключовим кадром, за допомогою якого можливо проводити кодування з будь-якої частини медіа-контенту [2]. Але така можливість потребує надто багато ресурсів серверу. Існує також варіант використання специфічного контейнеру для зберігання відеоданих в декількох потоках з можливостями компресії. Даний контейнер має назву MVC (Multiview Video Coding), який входить до набору алгоритмів H.264/AVC, що запатентовані і не доступні для широкого використання [3].

Найвідомішою реалізацією останньої ідеї є технологія IIS Smooth Streaming від компанії Microsoft [4]. В основі даної технології використовується сервер Microsoft IIS, а в якості протоколу передачі між клієнтом та сервером використовується протокол HTTP. Для того, щоб була можливість організувати адаптивне мовлення, на сервері заздалегідь підготовлюються відеоролики з різними показниками якості, такими як бітрейт та роздільна здатність. Ця технологія допомагає вирішити проблему швидкого початку відтворення: клієнту з самого початку передається фрагмент найнижчої якості, який швидко доставляється і починається його відтворення, потім, якщо дозволяє пропускна швидкість каналу, якість збільшується відповідно до апаратних можливостей користувача. Взаємодія між сервером і клієнтом проходить в наступній послідовності.

1.Програвач проводить запит до сервера по протоколу HTTP, і запитує відео-фрагмент певної довжини (в більшості випадків це фрагмент довжиною в 2 секунди).

2.На початку відтворення запитується фрагмент найнижчої якості, який швидко доставляється до програвача і починається його відтворення.

3.На основі даних, отриманих при передачі першого фрагменту, визначаються можливості користувача та наступний фрагмент запитується з врахуванням даних, що були отримані при доставці попереднього фрагменту.

Цей процес повторюється постійно, поки не буде припинено відтворення медіа-контенту на стороні користувача. Таким чином, медіа-контент може відтворюватися в різні моменти часу з різними показниками якості, які залежать від поточних можливостей користувача.

Для даної технології використовується специфічна підготовка медіа-контенту. В результаті кодування отримується набір підготовлених медіа-потоків з різною роздільною здатністю, які упаковані в файл з розширенням «.ismv». Також підготовлюється файл маніфесту (.ism). У файлі маніфесту зберігається інформація про медіа-контент, а також список доступних відео-потоків. На початку відтворення проводиться запит до файлу маніфесту, котрий і надає інформацію про доступні ресурси. Щоб отримати інформацію про наявні ресурси, необхідно провести запит до .ism файлу з параметром «*Manifest*» тобто вигляду «*http://../media.ism/Manifest*», у відповідь отримаємо XML-файл з описом доступних відео потоків та їх показників якості; саме на основі цих даних програвач приймає рішення щодо зміни якості зображення в залежності від умов відтворення. Також у файлі маніфесту задається шаблон URL для запиту фрагменту відео-файлу, у більшості випадків використовується шаблон *«QualityLevels({bitrate})/Fragments(video={start time})»*. У секції *{bitrate}* задається показник якості відео-фрагменту, а у секції *{start time}* позиція відтворення фрагменту.

Отже, клієнт і сервер знаходяться в постійному зв'язку між собою, що дає можливість реагувати на зміни умов клієнта, а також проводити збір певної статистичної інформації.

На сьогодні відомі декілька варіантів реалізації технології адаптивного мовлення. Це згадана вище Microsoft Smooth Streaming for Silverlight, Apple HTTP Adaptive Streaming for iPhone/iPad та Adobe Dynamic Streaming for Flash. Всі вони мають певну особливість: для їх функціонування необхідно мати спеціалізований сервер для проведення трансляції по протоколу HTTP.

Постановка задачі – реалізувати технологію адаптивного мовлення без використання спеціалізованих серверів відповідних компаній, використовуючи технології передачі відео по протоколу RTMP. Більш того, в системи має бути реалізована можливість зміни характеристик відео потоку в залежності від умов користувача, а в подальшому перенесення проміжної обробки на клієнтську сторону за допомогою технології псевдопотоків**.**

Мета роботи полягає у розробці практично діючої системи адаптивного мовлення, яка може динамічно змінювати якість відео, яке транслюється через Інтернет, в залежності від пропускної здатності інтернет-каналу між сервером та клієнтом. Також система повинна містити програмне забезпечення для автоматичної обробки відео контенту на основі статистичних даних, отриманих від користувачів даного ресурсу.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Основна ідея системи полягає в тому, щоб надати користувачеві якісно підготовлений контент для перегляду в режимі он-лайн, зважаючи на пропускну можливість його мережі. Одним із можливих варіантів реалізації такої ідеї є підготовка відеоматеріалів з різними показниками якості, щоб можливо було передавати контент по мережі без затримок. Зважаючи на проблему «останньої милі», також необхідно контролювати процес відтворення задля того, щоб оперативно реагувати на зміну пропускної швидкості каналу мережі.

Система складається з двох частин. Перша частина відповідає за доставку контенту кінцевому користувачеві, контроль за зміною пропускної швидкості мережі та відповідне реагування на ці зміни. Друга частина являє собою програмний комплекс, створений щоб полегшити процес додавання нового контенту на сервер та його попередню обробку, також він відповідає за обробку статистичних даних та автоматичну підготовку відеоматеріалів в залежності від потреб користувачів.

Серверна частина написана у вигляді Java Enterprise проекту. З'єднання з базою даних забезпечується за допомогою технології EJB. Під час входу на початкову сторінку проекту відбувається вимірювання пропускної швидкості мережі клієнта, на основі отриманих даних генеруються посилання на контент, який в даний момент знаходиться на сервері. Вибір оптимального варіанту відео файлу проводиться на стороні сервера, servlet на основі отриманих даних проводить підбір розміру файлу, який в даний момент наявний в системі. Якщо не знайдено жодного відео файлу, який задовольнив би потреби користувача, то обирається

найближчий, із наявних даних, до отриманого запиту зі сторони користувача. Дані про пропускну спроможність та дату відвідання сайту заносяться до бази даних для подальшої обробки та підготовки відповідних матеріалів. Під час перегляду наданого контенту може виникнути ситуація коли швидкість мережі може змінитись і користувачеві буде некомфортно переглядати обраний матеріал, саме на цю ситуацію орієнтований код, який виконується на стороні користувача і відслідковує такого роду зміни. В даній реалізації присутня система перевірки в основі якої лежить відслідковування часу прогнозованого відтворення в порівнянні з фактичним часом, впродовж якого відбувалося відтворення. Якщо фактичні й прогнозовані результати не збігаються, користувачеві автоматично проводиться зміна контенту на один із тих, що на даний момент наявні в системі, якщо такий матеріал відсутній, то зміна не проводиться, а в базу даних додаються дані про необхідність підготовки відео з відповідними показниками якості.

Зміна відеороликів «на льоту» є однією із основних проблем відтворення контенту, тому що необхідно приховати сам факт зміни від користувача. Дану проблему можна вирішити лише за рахунок медіа сервера, додавши до нього можливість попереднього завантаження фрагментів даних до початку їх відтворення. Один із можливих варіантів - використання комерційного варіанту WOWZA Media Server, але тут лише присутня можливість створити додаток до серверу, використовуючи відкрите API для розробників. У випадку Open Source проектів, таких як Red5 Media Server, залишається лише можливість редагування вихідних кодів та ручного збирання проекту. Технологія Microsoft IIS Smooth Streaming [4] вирішує дану проблему за рахунок протоколу передачі даних, кожен фрагмент відеоряду відправляється сервером та одночасно відтворюється програвачем на стороні клієнта, у разі отримання інформації про зміну пропускної спроможності просто змінюється наступний пакет на інший в залежності від необхідних показників якості. Отже, повертаючись до аспектів реалізації проекту, слід відмітити не останню роль програмного забезпечення та його використання. Для збереження інформації про наявний контент необхідно використовувати високоефективну базу даних, виходячи з міркувань загальнодоступності інструментарію було обрано СУБД MySQL, яка на даний момент є найдоступнішою та відносно стабільною серед інших Open Source проектів. Нижче продемонстрована структура бази даних, яка використовується в системі (рис. 1).

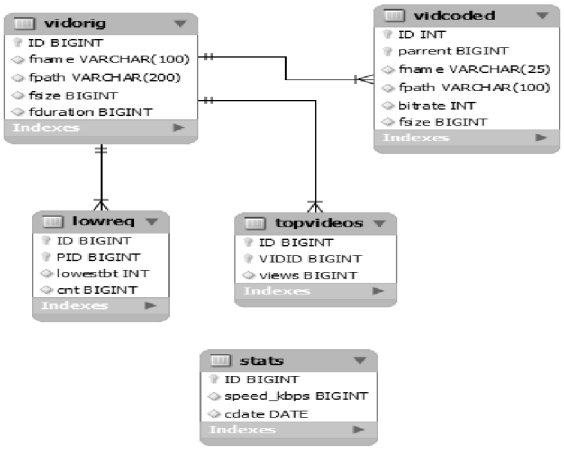


Рисунок 1 – Структура бази даних, яка використовується в системі

Як видно із структури БД, основною є таблиця яка містить інформацію про наявні в системі ролики в оригінальному (нестиснутому) вигляді під назвою *"vidorig"*. Саме звідси веб інтерфейс отримує інформацію про наявний контент. Таблиця*"vidcoded"* містить інформацію про кодовані відео ролики, одне з полів яких зв'язане з ключовим полем таблиці оригінальних даних, що дозволяє контролюючим частинам на боці сервера отримувати достовірну інформацію про наявні розміри та бітрейти варіантів основного відео ролика. Не менш важливою є таблиця *"lowreq",* в якій розміщуються запити на зміну якості відео у процесі його перегляду. Дана таблиця містить у собі ключове поле, по якому відбувається зв'язок з даними про оригінальні відео ролики, також присутнє поле, що відповідає за кількість таких запитів та поле зі значенням найнижчого бітрейту, загалом по певному ролику. Під час роботи системи автоматичної підготовки матеріалів дані відсортовуються по кількості запитів, і контент з більшим рейтингом обробляється в першу чергу. Ведення певних статистичних спостережень, а в подальшому і прогнозування певних дій спирається на таблиці *"topvideos"* та *"stats"*. Перша з них використовується для аналізу популярності певних відео роликів та в подальшому збільшення їх пріоритету при попередній обробці, в іншій накопичується інформація про пропускну спроможність каналу користувачів ресурсу, на основі цих даних планується проводити аналіз оптимального роз-

міру відео файлу для його комфортного перегляду. В подальшому планується відмовитися від збереження інформації про кодовані відео ролики у базі даних, більш ефективним та зручним буде створення файлу метаданих, що й буде містити всю необхідну інформацію про наявність інформації в системі, також це дозволить зменшити навантаження на сервер бази даних.

Друга частина проекту відповідає за автоматичну підготовку необхідних матеріалів. Для виконання цих та інших функцій необхідно мати програмний продукт, що має можливість перекодування відео файлів з одного формату в інший з використанням необхідних кодеків. Всім цим вимогам задовольняє безкоштовна Open Source утиліта під назвою FFMpeg. Цей програмний продукт надає користувачеві інтерфейс командного рядка для виконання усіх задач кодування та підтримує ті формати відео, які використовуються для трансляції по мережі.

Під час розробки згаданої частини проекту було реалізовано програмний інтерфейс до командного рядка FFMpeg, його основна задача полягає у підготовці командного рядка в залежності від заданих параметрів якості відповідного контенту. В процесі розробки виникла необхідність зчитування метаданих (довжина ролику, бітрейт, розмір файлу, роздільна здатність), для вирішення цієї проблеми було використано також FFMpeg, але в режимі зчитування інформації про файл. Щоб отримати ці дані використовується перенаправлення потоків стандартного вводу/виводу (stdin/stdout) та подальший розбір отриманих даних. Інформація про новий підготовлений контент заноситься до бази даних і стає доступною для використання. У даній частині проекту реалізований прямий доступ до бази даних, що спрощує передачу інформації між сервером бази даних та даної програми. Програма виконується постійно і з заданим інтервалом перевіряє базу даних на наявність нових запитів; якщо вони є, то вона починає підготовку і кодування відповідних відео файлів. Паралельно з потоком, в якому проводиться аналіз та обробка, працює потік який обробляє команди користувача. Завдяки цим командам користувачеві надана можливість керування обробкою інформації. Для задоволення потреб користувачів система дозволяє автоматично готувати необхідний матеріал на основі аналізу отриманої статистики. В процесі активності користувача збирається інформація про переглянуті ним відеоролики, пропускну швидкість його Інтернет-з'єднання та кількість запитів на зміну якості матеріалу. Отриманні дані сортуються по спаданню від найпопулярнішого контенту до менш популярного, таким чином готується в першу чергу матеріал який найбільш затребуваний користувачами. Процес підготовки починається відразу після перевірки наявності необхідної інформації в системі, інтервал перевірки задається адміністратором системи в залежності від навантаження.

Доцільно також зупинитися детальніше на функціоналі програми підготовки контенту. Як згадувалося раніше, користувачеві надана можливість змінювати параметри виконання під час роботи. Основні операції керування здійснюються за допомогою командного рядка та мають певний синтаксис. Наведемо детальний опис команд.

/bwp – виведення інформації про місцезнаходження файлів основного контенту, тобто папки, в якій знаходиться відеоматеріал, як кодований, так і оригінальний.

/dbh – виведення Інтернет-адреси сервера бази даних у вигляді "host:port".

/dbu – відображення назви активного профілю користувача бази даних.

/newdb – за допомогою даної команди користувачеві надається можливість змінювати параметри з'єднання з сервером баз даних. Команда відпрацьовує в діалоговому режимі і пропонує заповнити необхідні для успішного з'єднання поля, у разі якщо введені дані не відповідають дійсності і неможливо встановити зв'язок, то повертаються параметри попереднього успішного з'єднання. Відповідна процедура повторюється також під час першого запуску програми і не дозволяє запуск основного циклу обробки без успішного під'єднання до бази даних. Саме на етапі роботи з базою даних виникла основна проблема безкоштовного програмного забезпечення, неякісні допоміжні бібліотеки. Виявилося, що драйвер з'єднання з БД, який розповсюджується у комплекті з СУБД MySQL, використовувати при розробці неможливо. Крім того, некоректно встановлюється з'єднання, яке може бути розірване без видимих причин, відтік оперативної пам'яті є більш ніж помітним: після завершення одного процесу комунікації з базою даних кількість оперативної пам'яті збільшується на 1 Mb, що у будь-якому випадку є неприпус-

тимим. Наведена проблема властива саме драйверу БД, тому було знайдено більш функціональну та стабільну заміну в проекті MySQL++.

/currint – виведення інтервалу затримки при повторній перевірці та підготовці відеоматеріалів.

/chint <interval> – команда для зміни інтервалу перевірки. Значення інтервалу вводиться у форматі "seconds-minutes-hours-days", що допускає введення лише необхідного значення, але в строгому порядку зліва направо.

/exit – завершення роботи основної програми.

/addv – команда використовується для додання нових відео файлів у систему. Основне її призначення – максимально зменшити кількість дій з боку користувача. Отже, у діалоговому режимі користувачеві пропонується ввести інформацію про місцезнаходження відео файлу та ім'я, яке буде відображатися у веб-інтерфейсі системи. В автоматичному режимі проводиться внесення відповідної інформації у базу даних та розпочинається позачерговий процес підготовки кодованого відео у найвищій доступній у налаштуваннях програми якості. Для отримання всієї інформації використовується декілька допоміжних засобів для попередньої обробки; використовуються такі засоби, як отримання інформації з метаданих вихідного відео файлу та внесення її у кодовані файли.

Отримання метаданих з файлу проводиться шляхом запуску утиліти FFmpeg у режимі зчитування, щоб провести усі необхідні маніпуляції відбувається захоплення вихідного потоку утилітою та його подальший розбір з перетворенням отриманої інформації у необхідну форму. Перекодування проходить за допомогою утиліти FFmpeg, на вхід якої подається підготовлений командний рядок, який генерується у автоматичному режимі і включає всю необхідну інформацію як про вхідні дані, так і про вихідні.

Наведемо приклад реалізації головного циклу перевірки та підготовки контенту.

```
DWORD WINAPI Statistical_Analyzer(LPVOID lp)
{
  vector <int> mygrid;
  mygrid.push_back(100);
  mygrid.push_back(300);
  mygrid.push_back(500);

  BitrateGrid * btg = new BitrateGrid(mygrid);
  vector<Encoder*> encvec;
  vector<vidcoded*> codvec;
  vector<stats*> mystat;
  vector<topVideos*> tpv;
  vector<lowReq*> lrw ;
  while(true){
    system("cls");
    Connector * cnt = new
Connector(DBHost,DBUser,DBPass);
    mystat = cnt->GetStatistic();
    tpv = cnt->GetTop();
    lrw = cnt->GetRequests();
    if(lrw.size()==0){goto endpoint;}
    sort(tpv.begin(),tpv.end(),sortForTop);

    //prepare encoding tasks
    for(UINT i=0;i<tpv.size();i++){
      int k= FindInByID(lrw,tpv[i]->VIDID);
      if(k!=-1){
        int z = btg->lowerThan(lrw[k]->lowestBitrate);
        if(z!=0){
          ExifTool * einfo = new ExifTool();
          encvec.push_back(new Encoder());
          vidorig vd = cnt->getOrigVideoByID(tpv[i]-
>VIDID);
          MetaData * mtd = new MetaData();
          mtd=einfo-
>GetInfoForFile(basePath+vd.fpath);
          encvec[encvec.size()-1]-
>SetSourceVideoFile(basePath+vd.fpath);
          encvec[encvec.size()-1]->SetBitrate(z);
          encvec[encvec.size()-1]->SetDimensions(mtd-
>width,mtd->height);
          string prep = BitrateGrid::split(vd.fpath,"/")[1];
          prep = BitrateGrid::split(prep,".")[0];
          prep+="_"+BitrateGrid::toString(z)+"."+"flv";
          encvec[encvec.size()-1]-
>SetDestinationVideoFile(basePath+"codedvid/"+prep);
          vidcoded * vdcd = new vidcoded();
          vdcd->bitrate=z;
          vdcd->fpath="codedvid/"+prep;
          vdcd->PID=tpv[i]->VIDID;
          codvec.push_back(vdcd);
          delete mtd;
```

```
            delete einfo;
          }
        }
      }
      for(UINT i=0;i<encvec.size();i++)
      {
      encvec[i]->encode();
      }
      for(UINT i=0;i<codvec.size();i++)
      {
        ExifTool * einfo = new ExifTool();
        MetaData * mtdt = new MetaData();
        mtdt = einfo->GetInfoForFile(basePath+codvec[i]-
>fpath);
        codvec[i]->fsize=mtdt->file_size;
        cnt->InsertCodedVideo(*codvec[i]);
        delete einfo;
      }
      encvec.clear();
      codvec.clear();
      cnt->DeleteStatisticalTables();
endpoint: delete cnt;
      cout<<endl<<"new iter"<<endl;
      CListener((LPVOID)false);
      Sleep(timeInterval);
    }
    delete btg;
    return 0;
}
```

Як видно з прикладу, зв'язок з базою даних встановлюється за допомогою класу Connector, в якому реалізовано всі необхідні методи для роботи з БД, а також присутні методи, що відповідають за отримання необхідної інформації та її представлення в придатному для подальшого використання вигляді. Також одним із основних класів, що відповідає за обробку відео контенту, є ExifTool, який є по суті обгорткою (wrapper) навколо утиліти FFMpeg і за допомогою якої отримується вся необхідна інформація для подальшого використання. Вся отримана з файлу інформація зберігається в структурі MetaData для подальшого використання в процесі підготовки. Клас Encoder відповідає безпосередньо за конвертацію і також є обгорткою навколо FFMpeg. Решта з наведених вище класів та методів є допоміжними у процесі підготовки й конвертації та використовуються для проміжного збереження інформації.

ВИСНОВКИ

Розглянуто один із варіантів реалізації концепції адаптивного мовлення за допомогою сервера потокового медіа. Ключовою відмінністю даного підходу є те, що для організації адаптивного мовлення не потрібно використовувати спеціалізовані веб-сервери, використання та обслуговування яких потребує значних капіталовкладень.

Запропоновано варіант системи автоматичного адміністрування та підготовки медіа-контенту на основі аналізу статистичних даних, зібраних іншою частиною проекту, що спрощує адміністрування та дозволяє раціонально використовувати простір носіїв зберігання інформації. Проте в подальшому планується взагалі відмовитися від використання серверів потокового медіа на користь системи псевдопотоків*(англ. Pseudo streaming)*. Дана технологія дозволяє за допомогою лише додавання до веб-серверу спеціалізованого обробника запитів реалізувати систему відтворення відео з довільної позиції. Завдяки цьому з'являється можливість реалізації концепції адаптивного мовлення без використання допоміжного програмного забезпечення для потокового мовлення.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Xiaoyan Sun, Feng Wu, Shipeng Li, Wen Gao, Ya-Qin Zhang "Seamless switching of scalable video bitstreams for efficient streaming"// IEEE Transaction on multimedia, Vol. 6, N.2, 2004, pp 291-303
2. Xiaoyan Sun, Feng Wu, Shipeng Li, Guobin Shen, Wen Gao "Drift-Free Switching of Compressed Video Bitstreams at Predictive Frames"// IEEE Trans. on Circuits Systems for Video Technology. Vol. 16, no. 5, May 2006, pp. 565-576.
3. Xun Guo, Yan Lu, Feng Wu, Wen Gao, Shipeng Li "Free Viewpoint Switching in Multi-view Video Streaming Using Wyner-Ziv Video Coding"// SPIE Visual Communications and Image Processing, VCIP 2006, San Jose, CA, USA, Jan. 2006
4. Microsoft IIS Smooth Streaming technology // http://jmvm.vse.cz/wp-content/uploads/2011/05/t_IIS_Smooth_Streaming_Technical_Overview.pdf

ЗАСТОСУВАННЯ НЕЧІТКОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДЛЯ УДОСКОНАЛЕННЯ КОНТРОЛЮ В ПОДАТКОВІЙ СЛУЖБІ

УДК 004.94: 336.2

ЗАБОЛОТНІКОВА Вікторія Сергіївна
асистент кафедри «Інформаційні системи в економіці» автомобільно-дорожнього інституту Донецького національного технічного університету.
Наукові інтереси: інформаційні технології.
e-mail: zabolotnikova@ukr.net

ВСТУП І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розвиток економіки України, її конкурентоспроможність і інтеграція в європейське співтовариство залежить від ефективності економічної політики держави, складовою частиною якої є податкова політика. Стратегічна мета податкової політики – створення в Україні стабільної податкової системи, яка б забезпечила достатній обсяг платежів у бюджети всіх рівнів, ефективне функціонування економіки держави, слушний підхід до оподатковування всіх категорій платників податків. Становлення ринкових принципів господарювання, виникнення нових податкових відносин, необхідність зміцнення й стабілізації фінансової системи країни, забезпечення стійкого надходження бюджетних доходів об'єктивно обумовили зростання актуальності контролю в сфері оподаткування. У чинність цих об'єктивних причин відбулося відокремлення такого напрямку державного фінансового контролю, як контроль над своєчасною й повною сплатою платниками податків належних платежів у бюджет. Якісний та ефективний податковий контроль, виконання в повному обсягу всіх відповідних функцій повинен створювати позитивну динаміку податкових надходжень. На сьогоднішній день досягнуті значні результати в розвитку податкового контролю, які проводяться у рамках модернізації податкової служби. Однак загальний рівень податкової дисципліни, обсяг недоотриманих податків і сборів в бюджетну систему України, невідповідність положень податкового та облікового законодавства, наслідком чого є збільшення числа і ускладнення схем ухилення від сплати податків, застосовуваних несумлінними платниками податків, змушують здійснювати пошук нових резервів підвищення результативності податкового контролю.

Для ефективного здійснення процесу контролю в податковій службі існує необхідність розподілу платників податків за категоріями уваги. На підставі такої класифікації податкові органи повинні вибирати методи і принципи спілкування з платниками податків, залежно від того, до якої категорії вони відносяться. Так, при роботі з сумлінними платниками податків необхідно звертати увагу в першу чергу на профілактику порушень податкового законодавства, то по відношенню до платників податків помірного ризику буде застосовуватися постійне спостереження, а також кабінетний аудит (камеральні перевірки). При роботі з платниками податків високого ризику доцільним буде здійснення виїзного аудиту разом з постійним спостереженням (виїзні перевірки) [3].

Виїзні перевірки є найбільш ефективною формою податкового контролю, в ході яких можуть бути виявлені правопорушення. Проте ця форма є дуже трудомісткою і забирає багато робочого часу працівників податкових органів. Тому здійснення даної форми контролю доцільно тільки тоді, коли витрати на її проведення значно вище отриманих результатів.

Враховуючи важливість цього аспекту, виникає необхідність у розробці ефективної математичної моделі розподілу об'єктів (платників податків) податкового контролю за категоріями уваги системі.

Аналіз останніх досліджень. Проблемі контролю за виконанням податкового законодавства пильну увагу приділили такі вітчизняні вчені як І.А. Аврова, В.І. Братиків, Т.П. Брисіна, Є.В. Орлова. Питаннями податкового контролю в системи фінансових відносин держави і підприємств займалися А.В. Бризгалін, С.В. Котов, І.А. Орешкін, І.Р. Пайзулаєв. Тим не менш, розроблені методи побудови моделей не призводять до задовільним результатам у разі, коли вихідний опис, який підлягає вирішенню проблеми, свідомо є неточним або неповним.

Мета роботи – застосувати метод нечіткої кластеризації для удосконалення контролю в податковій службі. Для цього необхідно розподілити платників податків за категоріями уваги.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Одним з найбільш цікавих і багатообіцяючих підходів до аналізу багатовимірних явищ і процесів, є методи кластерного аналізу [1]. Виходячи з цього, для розподілу платників податків за категоріями уваги буде застосований метод нечіткої кластеризації даних. Питаннями розробки та застосування методів нечіткої кластеризації займалися такі вчені як А.С. Тараскіна, яка займалася нечіткою кластеризацією за модифікованою методом с-середніх, С.Д. Штовба, який вивчав проектування систем керування, А.В. Леоненков акцентував увагу на нечітке моделювання в середовищи MATLAB, Н.В. Куркіна досліджувала завдання динамічного програмування та нечіткої кластеризації, а так само О.М. Борисов, О.А. Крумберг, М.П. Деменков, Д.А. Вятченін. Серед зарубіжних вчених необхідно відзначити наступних вчених: Bezdek J., завдяки яким отримала розвиток і широке застосування нечітка кластеризація і його метод з-середніх, а також Л. Заде, Е. Распин, Дж. Дан, Д.Є. Густафсон, В.С. Кессель, Г. Ганн та інші.

Необхідність забезпечення наповнення дохідної частини бюджету ставить завдання щодо удосконалення системи адміністрування податків, що передбачає створення умов для постійного неупередженого контролю за своєчасністю та повнотою сплати суб'єктами господарювання податків і зборів до бюджетів та державних цільових фондів.

Для забезпечення виконання зазначеного та раціонального використання інтелектуальних, матеріальних та інформаційних ресурсів органів державної податкової служби України, забезпечення своєчасної та повної сплати податків і зборів (обов'язкових платежів) до бюджетів та державних цільових фондів є потреба у розподілі суб'єктів господарювання за категоріями уваги на основі факторів податкових ризиків [3].

Категорія уваги – характеристика суб'єктів господарювання відповідного рівня ризику, сформована на основі критеріїв оцінки та розподілу. Розрізняють такі категорії уваги:

- категорія 1 (зелений коридор) ☒ сумлінні платники податків;
- категорія 2 (жовтий коридор) ☒ платники податків помірного ризику;
- категорія 3 (червоний коридор) ☒ платники податків високого ризику.

У цей час задачі обробки інформації, заданої в нечисловому виді, одержали широке поширення. Кластеризація даних відноситься до одних з основних методів інтелектуальної обробки інформації [4]. Аналіз і моделювання складних формалізуємих процесів, які характеризуються великим числом враховуючих факторів, вимагає застосування спеціалізованих методів і інструментальних засобів. Використання кластеризації виправдане скрізь, де потрібен багатомірний аналіз різноякісної інформації [5].

Кластеризація – це поділ елементів деякої множини на групи на основі їх схожості. Завдання кластеризації полягає в розбивці об'єктів з X на кілька підмножин (кластерів), у яких об'єкти більш схожі між собою, чим з об'єктами з інших кластерів. У метричному просторі «схожість» звичайно визначають через відстань [6].

Існує багато методів кластеризації, які можна класифікувати на чіткі й нечіткі [6].

Чіткі методи кластеризації розбивають вихідну множину об'єктів X на кілька непересічних підмножин. При цьому будь-який об'єкт із X належить тільки одному кластеру.

Нечіткі методи кластеризації дозволяють одному й тому самому об'єкту належати одночасно декільком (або навіть усім) кластерам, але з різним ступенем

належності. Нечітка кластеризація в багатьох ситуаціях більш «природня», чим чітка, наприклад, для об'єктів, розташованих на границі кластерів [6].

«Вимога знаходження однозначної кластеризації елементів досліджуваної проблемної області є досить грубим і твердими, особливо при рішенні погано або слабко структурованих завдань системного аналізу. Методи нечіткої кластеризації послабляють цю вимогу. Ослаблення вимоги здійснюється за рахунок уведення в розгляд нечітких кластерів і відповідних їм функцій належності, що приймають значення з інтервалу [0, 1]» [7, с.381]. А елементи матриці ступенів належності чіткої розбивки приймають значення із двоелементної множини {0,1}, а не з інтервалу [0,1]. У зв'язку з вищесказаним, стає очевидним застосування методу нечіткої кластеризації для розподілу платників податків за категоріями уваги.

Розвиток і широке застосування нечітка кластеризація одержала завдяки Бездеку та його методу нечітких с-середніх, але у базовому алгоритмі нечітких с-середніх відстань між об'єктом і центром кластера розраховується через стандартну Евклідову норму. В результаті алгоритмів кластеризації з фіксованою нормою форма всіх кластерів виходить однакова. Алгоритми кластеризації як би нав'язують даним невластиву їм структуру, що інколи приводить до неоптимальних результатів [6]. Для усунення цього недоліку існує кілька методів, серед яких виділимо алгоритм Густафсона-Кесселя.

Алгоритм Густафсона-Кесселя використовує адаптивну норму для кожного кластера, тобто для кожного i-го кластера існує своя норм-породжуюча матриця A_i. У цьому алгоритмі при кластеризації оптимізуються не тільки координати центрів кластерів та матриця нечіткої розбивки, але також і норм-породжуючі матриці для всіх кластерів. Це дозволяє виділяти кластери різної геометричної форми [8].

Досліджувана сукупність даних являє собою кінцеву множина елементів $A=\{a_1, a_2, ..., a_n\}$, яке одержало назву множина об'єктів кластеризації. У розгляд також уводиться кінцева множина ознак або атрибутів $P=\{p_1,p_2, ..., p_q\}$, кожний з яких кількісно представляє деяку властивість або характеристику елементів розглянутої проблемної області. При цьому натуральне n визначає загальну кількість об'єктів даних, а натуральне q – загальну кількість вимірних ознак об'єктів. Далі передбачається, що для кожного з об'єктів кластеризації деяким чином обмірювані всі ознаки множинаі P у деякій кількісній шкалі. Тим самим кожному з елементів $a_i \in A$ поставлений у відповідність деякий вектор $x_i = \left(x_1^i, x_2^i, ..., x_q^i\right)$, де x_j^i – кількісне значення ознаки $p_i \in P$ для об'єкта даних $a_i \in A$.

Вектори значень ознак $x_i = \left(x_1^i, x_2^i, ..., x_q^i\right)$ зручно представити у вигляді так називаної матриці даних X розмірності (n×q), кожний рядок якої рівняється значенню вектора x_i.

Кластерна структура задається матрицею належності μ розмірності c×n, де $\mu_{A_k}(a_i)$ – ступінь належності a_i-го елемента k-му кластеру.

Матриця належності повинна задовольняти наступним умовам:

а) $\mu_{A_k}(a_i) \in [0,1], k = \overline{1,c}, i = \overline{1,n}$;

б) $\sum_{k=1}^{c} \mu_{A_k}(a_i) = 1,$ тобто кожний об'єкт повинен бути розподілений між усіма кластерами;

в) $0 < \sum_{i=1}^{n} \mu_{A_k}(a_i) < 1$, тобто жоден кластер не повинен бути порожнім або містити всі елементи.

Далі для кожного нечіткого кластера вводяться в розгляд так звані типові представники або центри v_k шуканих нечітких кластерів, які розраховуються для кожного з нечітких кластерів і по кожному з ознак за наступною формулою:

$$v_j^k = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\mu_{A_k}(a_i))^m \cdot x_j^i}{\sum_{i=1}^{n} (\mu_{A_k}(a_i))^m}, j = \overline{1,q}, \qquad (1)$$

де $m \in (1, \infty)$ – експонентна вага, що визначає нечіткість, розмитість кластерів.

Чим більше значення експонентної ваги, тим матриця належності більш розмазана й при $m \to \infty$ елементи приймуть вид $\mu_{A_k}(a_i) = \frac{1}{c}$, що є поганим рішенням, тому що всі об'єкти будуть з однаковим ступенем розподілені по всіх кластерах. Експонентна вага дозволяє при формуванні координат центрів кластерів підсилити вплив об'єктів з більшими ступенями належності й зменшити вплив об'єктів з малими ступенями належ-

ності. Теоретично обґрунтованого правила вибору ваги поки не існує, і зазвичай встановлюють m = 2 [9].

Для оцінки якості розбивки використовується критерій розкиду, що показує суму відстаней від об'єктів до центрів кластерів з відповідними ступенями належності:

$$f(A_k, v_j^k) = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{c}(\mu_{A_k}(a_i))^m \sum_{j=1}^{q}(x_j^i - x_j^k)^2. \quad (2)$$

Задача нечіткої кластеризації щодо розподілу платників податків може бути сформульована в такий спосіб: розподілити платників податків за трьома категоріями уваги задавши функцію належності $\mu_{A_k}(a_i)$, і-рядок якої представляє інформацію про одного платника податків, а k-стовпець надає інформацію про всіх платників податків, які належать більшою чи меншою мірою до конкретного кластера, яка доставляє мінімум цільової функції і задовольняють вище перерахованим обмеженням.

Алгоритм Густафсона-Кесселя складається з наступних кроків.

Крок 1. Генеруємо матрицю нечіткої розбивки (табл. 1).

Таблиця 1 –

Матриця належності експертного оцінювання

№ п/п	Платник податків	Категорії уваги		
		Зелені	Жовті	Червоні
1	Коломійцева Галина Юріївна	0,0500	0,9000	0,0500
2	Мартиненко Олена Анатоліївна	0,9000	0,0500	0,0500
3	Юрченко Людмила Михайлівна	0,1000	0,2000	0,7000
4	Коноводов Юрій Миколайович	0,5500	0,3500	0,1000
97	Коваленко Валентина Василівна	0,5000	0,3000	0,2000
98	Глушко Лілія Володимирівна	0,7500	0,2000	0,0500
99	Кульбачна Тетяна Валентинівна	0,0500	0,0500	0,9000
100	Давідайтіс Надія Миколаївна	0,1000	0,2000	0,7000

Крок 2. Розраховуємо центри кластерів за формулою (табл. 2).

Таблиця 2 –

Центри кластерів

Категорії уваги	Фактори							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Зелені	0,23564	0,24754	0,26316	0,25478	0,2679	0,21748	0,28221	0,20789
Жовті	0,78414	0,76387	0,76809	0,80704	0,81388	0,80441	0,79142	0,77872
Червоні	0,52152	0,50933	0,50497	0,486	0,5043	0,47473	0,45326	0,44784

Крок 3. Визначаємо матриці коваріації для кожного кластера:

$$B_j^k = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\mu_{A_k}(a_i))^m \cdot (x_j^i - v_j^k)^T \cdot (x_j^i - v_j^k)}{\sum_{i=1}^{n}(\mu_{A_k}(a_i))^m}. \quad (3)$$

Матриця коваріації для третього кластеру, тобто для червоної категорії уваги має наступний вигляд:

$$B^3 = \begin{pmatrix} 0,4924 & 0,4542 & 0,4808 & 0,4493 & 0,4152 & 0,4393 & 0,4544 & 0,4743 \\ 0,4542 & 0,4891 & 0,5079 & 0,4551 & 0,3935 & 0,4161 & 0,5092 & 0,5344 \\ 0,4808 & 0,5079 & 0,5972 & 0,4911 & 0,4311 & 0,4549 & 0,5449 & 0,5695 \\ 0,4493 & 0,4551 & 0,4911 & 0,5340 & 0,4769 & 0,5210 & 0,5874 & 0,6106 \\ 0,4152 & 0,3935 & 0,4311 & 0,4769 & 0,4927 & 0,5266 & 0,5404 & 0,5280 \\ 0,4393 & 0,4161 & 0,4549 & 0,5210 & 0,5266 & 0,6020 & 0,6190 & 0,6123 \\ 0,4544 & 0,5092 & 0,5449 & 0,5874 & 0,5404 & 0,6190 & 0,8236 & 0,7867 \\ 0,4743 & 0,5344 & 0,5695 & 0,6106 & 0,5280 & 0,6123 & 0,7867 & 0,8273 \end{pmatrix}$$

Крок 4. Розраховуємо відстані між об'єктами із X та центрами кластерів за наступною формулою:

$$D_{B_j^k} = (x_j^i - v_j^k) \cdot [(\det(B_j^k)) \cdot (B_j^k)^{-1}] \cdot (x_j^i - v_j^k)^T. \quad (4)$$

Для третього кластеру матриця має наступний вид:

$$D_{B^3} = \begin{pmatrix} 1,4151 & 3,5962 & 0,0567 & 0,4302 & 1,0251 & 0,7188 & 3,7478 & \dots & 0,2765 \\ 3,5962 & 16,5886 & 2,0982 & 1,1672 & 0,1606 & 2,3532 & 6,9467 & \dots & 2,8446 \\ 0,0567 & 2,0982 & 1,1471 & 1,0488 & 0,1982 & 1,3670 & 0,3431 & \dots & 1,0079 \\ 0,4302 & 1,1672 & 1,0488 & 6,9062 & 2,6100 & 0,5972 & 3,8626 & \dots & 0,9283 \\ 1,0251 & 0,1606 & 0,1982 & 2,6100 & 2,9383 & 0,4526 & 4,3004 & \dots & 0,2809 \\ 0,7188 & 2,3532 & 1,3670 & 0,5972 & 0,4526 & 3,4749 & 1,5800 & \dots & 1,1377 \\ 3,7478 & 6,9467 & 0,3431 & 3,8626 & 4,3004 & 1,5800 & 18,8696 & \dots & 1,4831 \\ 3,3776 & 11,1887 & 1,6619 & 2,4023 & 2,1277 & 3,4997 & 8,2875 & \dots & 1,9890 \\ 0,7372 & 0,8188 & 0,6980 & 1,2299 & 0,6961 & 0,6732 & 1,2256 & \dots & 0,7000 \\ 4,0245 & 13,3506 & 1,1373 & 1,2955 & 1,1556 & 3,2830 & 9,6540 & \dots & 1,7494 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0,2765 & 2,8446 & 1,0079 & 0,9283 & 0,2809 & 1,1377 & 1,4831 & \dots & 1,3108 \end{pmatrix}$$

Крок 5. Перераховуємо елементи матриці нечіткої розбивки.

Якщо $D_{B_j^k} = 0$, то для відповідного нечіткого кластера $\mu'_{\mathrm{k}}(a_i) = 1$, а для інших $\mu'_{\mathrm{k}}(a_i) = 0$.

Якщо $D_{B_j^k} > 0$, то проводимо розрахунок за формулою:

$$\mu'_{A_k}(a_i) = \left(\sum_{l=1}^{c} \left(\frac{\left(\sum_{j=1}^{q} \left(x_j^i - v_j^k \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}}{\left(\sum_{j=1}^{q} \left(x_j^i - v_j^l \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right)^{-1}. \quad (5)$$

Крок 6. Якщо кількість виконаних ітерацій перевищує задане число s або ж модуль різниці $\left| \mathrm{f}'\left(\mathrm{A_k}, v_j^k \right) - \mathrm{f}'\left(\mathrm{A_k}, v_j^k \right) \right| \le \varepsilon$, тобто не перевищує значення параметра збіжності алгоритму ε, то в якості шуканого результату нечіткої кластеризації прийняти нечітку розбивку μ´ і закінчити виконання алгоритму. А якщо ні, то вважати поточною нечіткою розбивкою μ´ і перейти на крок 3 алгоритму, збільшивши на 1 кількість виконаних ітерацій.

При виконанні алгоритму було зроблено 22 ітерації, так як різниця значень цільових функції на останній і передостанній ітераціях не перевищила значення параметра збіжності алгоритму, то нашою нечіткою розбивкою платників податків за категоріями уваги будемо вважати нечітку розбивку на 21 ітерації. Результати нечіткої розбивки платників податків за категоріями уваги на основі алгоритму Густафсона-Кесселя показані у табл. 3.

Таблиця 3 –

Матриця належності нечіткої кластеризації алгоритмом Густафсона-Кесселя

№ п/п	Платник податків	Категорії уваги		
		Зелені	Жовті	Червоні
1	Коломійцева Галина Юріївна	0,4080	0,1126	0,8794
2	Мартиненко Олена Анатоліївна	0,0906	0,7381	0,1713
3	Юрченко Людмила Михайлівна	0,5812	0,3300	0,0888
4	Коноводов Юрій Миколайович	0,2026	0,2598	0,5376
…	…	…	…	…
96	Зайцева Вікторія Олександрівна	0,6164	0,2878	0,0958
97	Коваленко Валентина Василівна	0,2191	0,2033	0,5776
98	Глушко Лілія Володимирівна	0,0644	0,6655	0,2701
99	Кульбачна Тетяна Валентинівна	0,4795	0,4388	0,0817
100	Давідайтіс Надія Миколаївна	0,5604	0,3260	0,1136

Результати кластеризації можуть бути сформовані наступним чином, наприклад, платник податків Глушко Лілія Володимирівна з більшою ймовірністю (приблизно 67%) відноситься до жовтої категорії уваги, тобто Глушко Лілія Володимирівна – платник податків помірного ризику.

Досвід вирішення прикладних завдань показує, що найбільш ефективний шлях отримання адекватних результатів полягає в багаторазовому виконання алгоритму для різних вихідних розбивок. Отримані результати порівнюються значення цільової функції отриманих нечітких розбивок з метою ухвалення остаточного рішення про шукану нечітку кластеризацію [7].

Для оцінки якості кластеризації можна використовувати величину силуету S [10]. При нечіткої кластеризації номер кластера визначається за максимальним значенням ступеня належності. Значення силуету виражається для кожного об'єкта в такий спосіб:

$$S(x_i) = \frac{a(x_i) - b(x_i)}{\max(a(x_i), b(x_i))}, \quad (6)$$

де a(x_i) – середня відстань між об'єктом x_i ($x_i \in k$, $k = \overline{1,c}$) і об'єктами того ж кластера k до якого належить x_i;

b(x_i) ☒ мінімальна відстань між об'єктом x_i і об'єктами в кластері, якийближче всього до кластера k, тобто кластер до якого x_i не належить.

Значення силуету лежить в інтервалі [−1; 1], якщо воно від'ємне, то платник податків уважається погано кластеризованним [11].

По алгоритму Густафсона-Кесселя значення силуету для першого платника податків буде дорівнювати: $S = (0{,}1213 - 0{,}0156) / 0{,}1213 = 0{,}8714$, так як наше значення додатне, це означає, що платник податків дуже добре кластеризован.

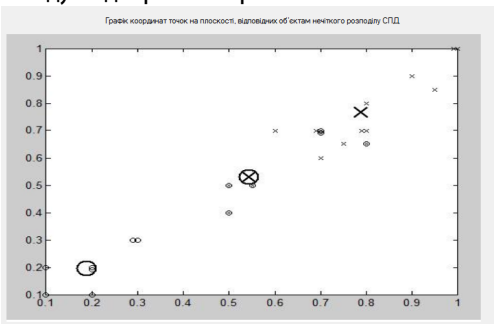


Рисунок 1 – Графік координат точок на плоскості, відповідних об'єктам нечіткого розподілу платників податків

Результати також можуть бути отримані в системі MathLab. Цей метод є більш трудомістким, але має гнучкість і можливість відображення функцій належності. Результат вирішення завдання нечіткої кластеризації системою MathLab для трьох нечітких кластерів представлений візуалізацією вихідних даних і результатів нечіткої кластеризації у двовимірному просторі на площині (рис. 1).

ВИСНОВКИ

Метод нечіткої кластеризації, а саме алгоритм Густафсона-Кесселя, є досить ефективним методом розподілу платників податків за категоріями уваги. Однак виконана з його допомогою розбивка не є остаточним кроком у поставленій меті на шляху оранізації виїзних податкових перевірок платників податків. Проведена нечітка кластеризація дозволила багатосторонньо проаналізувати природу процесів податкової служби та спростити обробку данних.

Для реалізації методів нечіткого управління більш природно описується характер людського мислення і хід його міркувань, ніж в формально-логічних системах, існує можливість будувати моделі, які найбільш адекватно відображають різні аспекти невизначеності, які постійно присутні у навколишній реальності.

Перспективи подальших досліджень спрямовані на розробку інформаційної технології автоматизованого контролю процесів податкової служби.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Вятченин Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации: монография /Д.А. Вятченин. – Мн.: УП «Технопринт», 2004 – 219 с.
2. Жидкова Е.Ю. Налоги и налогообложение /Е.Ю. Жидкова; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Эксмо, 2009. – 480 с.
3. Наказ «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо порядку розподілу платників податків за категоріями уваги N 442 14.04.2009» [Електронний ресурс] /В. Янукович. – 2009. – Режим доступу до наказу: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/GDPI7866.html.
4. Gan G. Data Clustering: theory, algorithms and applications /G. Gan, C. Ma, J. Wu. – Alexandria: ASA-SIAM, 2007. – 488 p.
5. Bezdek J.C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms /J.C. Bezdek. – New York: Plenum Press, 1981. – 345 p.
6. Сокал Р.Р. Кластер-анализ и классификация: предпосылки и основные направления /Р.Р. Сокал; под ред. Дж. Вэн Райзина. – М.: Мир, 1990.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
8. Gustafson D.E. Fuzzy clustering with a fuzzy covariance matrix /D.E. Gustafson W.C. Kessel //Proc. IEEE CDC. – 1979. – №7. – P.773-781.
9. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 288 с.
10. Rousseeuw J.P. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis /J.P. Rousseeuw //J. Comp. Appl. Math. – 1987. – №20. – P.53-65.
11. Bhuyan P.K. FCM clustering using GPS data for defining level of service criteria of urban streets in Indian context /P.K. Bhuyan, K.V.K. Rao //Transport problems. – 2010. – №5. – P.105-113.
12. Заболотникова В.С. Учет субъектов предпринимательской деятельности в условиях неопределенности на основе метода нечеткой кластеризации /В.С. Заболотникова //Научные труды ДонНТУ. Серия «Информатика, кибернетика и вычислительная техника». – 2011. – №14 (188). – С.283-290.

АНОТАЦІЇ

УДК 519.713 /Ходаков В.Є. /Моделі оцінювання стану регіонально-виробничих соціально-економічних систем /Ходаков В.Є., Соколова Н.А., Хапов Д.В. //Проблеми інформаційних технологій. — 2012. — №1 (011). —С.00-00. Бібл.: 11 назв., рос.

Розроблено математичну модель оцінювання стану регіонально-виробничих соціально-економічних систем. В якості інтегральних характеристик РВСЕС прийняті два показника: стійкість розвитку та інвестиційна привабливість об'єкта.

УДК 519.713 /Ходаков В.Е. /Модели оценивания состояния регионально-производственных социально-экономических систем /В.Е. Ходаков, Н.А. Соколова, Д.В. Хапов //Проблемы информационных технологий. — 2012. — №1 (011). - С.00-00. Библ.: 11 назв., рус.

Разработана математическая модель оценивания состояния регионально-производственных социально-экономических систем. В качестве интегральных характеристик РПСЭС приняты два показателя: устойчивость развития и инвестиционная привлекательность объекта.

UDC 519.713 /Khodakov V.E. /The models of assessment of state of regional, industrial, social and economical systems /V.E. Khodakov, N.A. Sokolova, D.V. Khapov //The problems of information technologies. — 2012. — №1 (011). — Pp.00-00. Ref.: 11 titles, rus.

Mathematical model of assessment of state of regional, industrial, social and economical systems was worked. Also it was taken into consideration two proofs: steadiness of development and investment attractiveness of object in quality of integral descriptions.

УДК 681.5 /Кондратенко Ю.П., Козлов О.В. /Нечіткі регулятори в системах керування реакторами багатоконтурних піролізних установок //Проблеми інформаційних технологій. — 2012. — №1 (011_. — С.00-00. Бібл.: 19 назв., укр.

Статтю присвячено розробці та дослідженню нечітких регуляторів для систем керування температурою нагріву реакторів багатоконтурних піролізних установок. Наведені основні етапи розробки нечітких ПД-регуляторів типу Сугено та Мамдані, результати моделювання систем керування з синтезованими регуляторами в умовах збурень та порівняльний аналіз показників якості систем керування, синтезованих на основі нечітких та традиційного ПД-регуляторів.
Ключові слова: багатоконтурна піролізна установка, система автоматичного керування, нечіткий регулятор.

УДК 681.5 /Кондратенко Ю.П., Козлов А.В. /Нечеткие регуляторы в системах управления реакторами многоконтурных пиролизных установок //Проблемы информационных технологий. — 2012. — №1 (011). — С.00-00. Библ.: 19 назв., укр.

Статья посвящена разработке и исследованию нечетких регуляторов для систем управления температурой нагрева реакторов многоконтурных пиролизных установок. Приведены основные этапы разработки нечетких ПД-регуляторов типа Сугэно и Мамдани, результаты моделирования систем управления с синтезированными регуляторами в условиях возмущений и сравнительный анализ показателей качества систем управления, синтезированных на основе нечетких и традиционного ПД-регулятора. *Ключевые слова:* многоконтурная пиролизная установка, система автоматического управления, нечеткий регулятор.

UDC 681.5 /Kondratenko Y.P., Kozlov O.V. /Fuzzy controllers in reactors control systems of multiloop pyrolysis plants //The problems of information technologies. — 2012. — №1 (011). — P.00-00. Ref.: 19 titles, ukr.

The article deals with the development and research of fuzzy controllers for reactors control systems of multiloop pyrolysis plants. The main stages of fuzzy PD-controllers design for both Sugeno and Mamdani types, modeling results of control systems with synthesized controllers in disturbance influences, and the quality indicators comparative analysis of the control systems, synthesized on the basis of fuzzy and traditional PD-controllers, are presented. *Keywords:* multiloop pyrolysis plant, automatic control system, fuzzy controller.

УДК 512.83 /В.В. Марасанов /Алгоритм оцінювання умов виникнення небезпечних станів параметрів при випробуваннях динамічних об'єктів /В.В. Марасанов, Г.В. Рудакова, В.С. Димов, Г.О. Димова //Проблеми інформаційних технологій. —2011. —№2 (010). —С.00-00. Бібл.: 4 назв., рос.

Розглянутий метод визначення сполучень параметрів, що впливають на групи параметрів, які характеризують передаварійний стан динамічного об'єкта, що випробовується.

УДК 512.83 /В.В. Марасанов /Алгоритм оценки условий возникновения опасных состояний параметров при испытаниях динамических объектов /В.В. Марасанов, А.В. Рудакова, В.С. Дымов, А.О. Дымова //Проблемы информационных технологий. —2011. —№2 (010). — С.00-00. Библ.: 4 назв., рус.

Рассмотрен метод определения сочетаний параметров, влияющих на группы параметров, характеризующих предаварийное состояние испытываемого динамического объекта.

UDC 512.83 /V.V. Marasanov /Algorithm of conditions determination of dangerous states for testing the parameters of dynamic objects /V.V. Marasanov, A.V. Rudakova, V.S. Dymov, A.O. Dymova //The problems of information technologies. — 2011. — №2 (010). — Pp.00-00. Ref.: 4 titles, rus.

A method for determining combinations of parameters that affect the group of parameters that characterize the state of pre-crash test of a dynamic object is considered.

УДК 519.713:631.411.6 /Козуля Т.В., Шаронова Н.В., Ємельянова Д.І., Козуля М.М /Теоретико-практичні основи методології комплексної оцінки екологічності територіальних і об'єктових систем //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 7 назв., укр.

У роботі надані теоретико-практичні засади обґрунтування методології оцінки екологічності на основі імовірнісно-ентропійного ризик-аналізу для розв'язання задач екологічної безпеки на рівні ландшафтно-геохімічних комплексів і територіально-об'єктових систем. Подані практичні приклади оцінки екологічної якості досліджених техногенно-навантажених об'єктів за методологією КЕС і її сполученням з MIPS-аналізом. *Ключові слова:* імовірнісно-ентропійний підхід, ризик-аналіз, комплексна оцінка якості, екологічна небезпека, MIPS-аналіз.

УДК 519.713:631.411.6 /Козуля Т.В., Шаронова Н.В., Ємельянова Д.И., Козуля М.М. /Теоретико-практические основы методологии комплексной оценки экологичности территориальных и объектовых систем //Проблемы информационных технологий. – 2012. –№1 (011). –С.00-00. Библ.: 7 назв., укр.

В работе предоставлены теоретико-практические основы обоснования методологии оценки экологичности на основе вероятностно - энтропийного риск-анализа для решения задач экологической безопасности на уровне ландшафтно-геохимических комплексов и территориально-объектовых систем. Представлены практические примеры оценки экологического качества исследованных техногенно-нагруженных объектов по методологии КЭС и ее сочетанием с MIPS- анализом. *Ключевые слова:* вероятностно-энтропийный подход, риск-анализ, комплексная оценка качества, экологическая опасность, MIPS-анализ.

UDC 519.713:631.411.6 /Kozulja T., Sharonova N., Emelianova D., Kozulja M. /Theoretical practical basis of complex estimation methodology ot ecological compatibility for territorial and object systems //The problems of information technologies. –2012. –№1 (011). –Pp.00-00. Ref.: 7 titles, ukr.

Theoretical practical grounds basis of ecological compatibility estimation method is given in the article and is based upon probabilistic entropic risk analysis for solving ecological security problems at the level of landscape geochemical complexes and territorial object systems. Practical examples of ecological quality estimation of examined anthropogenic loaded objects, made according to CES method and its MIPS analysis combination, is represented. *Key words:* probability entropic approach, risk analysis, quality complex estimation, ecological danger, MIPS-analysis.

УДК 518 /В.В. Марасанов, О.І. Забитовська, Г.О. Димова /Аналіз динамічних рівнянь міжотраслевого балансу методом теорії збурень //Проблеми інформаційних технологій. – 2011. – №2 (010). – С.00-00. Бібл.: 6 назв., рос.

Розглянута можливість дослідження динамічних рівнянь міжгалузевого балансу при виникненні збурень в елементах матриць прямих матеріальних затрат та внутрішніх інвестицій.
Ключові слова: характеристичне рівняння, власне значення, власний вектор, матриця, збурення, збіжність степеневих рядів, евклідова норма.

УДК 518 /В.В. Марасанов, О.И. Забытовская, А.О. Дымова /Анализ динамических уравнений межотраслевого баланса методом теории возмущений //Проблемы информационных технологий. – 2011. – №2 (010). – С.00-00. Библ.: 6 назв., рус.

Рассмотрена возможность исследования динамических уравнений межотраслевого баланса при возникновении возмущений в элементах матриц прямых материальных затрат и внутренних инвестиций.
Ключевые слова: характеристическое уравнение, собственное значение, собственный вектор, матрица, возмущение, сходимость степенных рядов, эвклидова норма.

UDC 518 /V.V. Marasanov, O.I. Zabytovskaya, A.O. Dymova /The analysis of dynamic balance equations of interbranch by perturbation theory //The problems of information technologies. – 2011. –№2 (010). –P.00-00. Ref.: 6 titles, rus.

The possibility of studying the dynamic equations of interbranch balance in case of perturbations in the matrix elements of the direct material costs and domestic investment
Keywords: the characteristic equation, eigenvalues, vectors, matrices, perturbation, convergence of power series, the euclidean norm.

УДК 519+61:681.3 /Прокопчук Ю.О. /Аналіз тимчасових рядів на основі принципу граничних узагальнень //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 8 назв., рос.

У роботі описується оригінальна методологія аналізу тимчасових рядів на основі принципу граничних узагальнень. В основі методології лежить побудова орграфу начерків тимчасового ряду, екстремального шару начерків, інформаційних множин, граничних моделей знань, а також методи пошуку зако-

УДК 519+61:681.3 /Прокопчук Ю.А. /Анализ временных рядов на основе принципа предельных обобщений //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 8 назв., рус.

В работе описывается оригинальная методология анализа временных рядов на основе принципа предельных обобщений. В основе методологии лежит построение орграфа набросков временного ряда, экстремального пограничного слоя набросков, информацион-

UDC 519+61:681.3 /Iu. Prokopchuk /Time series analysis on the basis of the principle of limiting generalizations //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 8 titles, rus.

The paper presents a novel methodology for time series analysis on the basis of the principle of limiting generalizations. The methodology is based on the construction of a digraph of time series sketches, an extreme boundary layer of sketches, information sets, limiting knowledge

номірностей предметної області. Запропоновано оригінальне трактування тесту «Тенденція» і досліджені деякі його властивості. Приводяться приклади використання методології в інтелектуальних прикладеннях. Ключові слова: часовий ряд, принцип граничних узагальнень, орграфи начерків, тенденція, когнітивний підхід.

ных множеств, предельных моделей знаний, а также методы поиска закономерностей предметной области. Предложена оригинальная трактовка теста «Тенденция» и исследованы некоторые его свойства. Приводятся примеры использования методологии в интеллектуальных приложениях. *Ключевые слова:* временной ряд, принцип предельных обобщений, орграфы набросков, тенденция, когнитивный подход.

models, and methods to search for subject domain regularities. An original interpretation of the Tendency test is proposed, and some of its properties are studied. Examples of the use of the methodology in intelligent applications are given. *Keywords:* time series, Principle of Limiting Generalizations, sketch digraphs, tendency, cognitive approach.

УДК 620.179.16 /М.І. Бабенко /Модель мережі Байєса для оцінки ступеня значимості впливаючих факторів в системах дефектоскопії механічних характеристик металів //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 9 назв., рос.

У статті представлено модель оцінки ступеня значимості факторів, що впливають на точність визначення резонансної частоти автоциркуляції при акустичному методі неруйнівного контролю. В якості контрольованого об'єкту запропоновано використовувати порожнє тіло обертання, при цьому досліджувалися наступні розмірні характеристики: внутрішній діаметр вершини, внутрішній діаметр основи, зовнішній діаметр, висота виробу і некруглість зовнішнього діаметра. Показано, що точність вимірювання резонансної частоти доцільно підвищувати за рахунок зменшення допуску на внутрішні та зовнішній діаметри.

УДК 620.179.16 /Н.И. Бабенко /Модель сети Байеса для оценки степени значимости влияющих факторов в системах дефектоскопии механических характеристик металлов //Проблемы информационных технологий. – 2012. –№1 (011). –С.00-00. Библ.: 9 назв., рус.

В статье представлена модель оценки степени значимости влияющих факторов на точность определения резонансной частоты автоциркуляции при акустическом методе неразрушающего контроля. В качестве контролируемого объекта предложено использовать полое тело вращения, при этом исследовались следующие размерные характеристики: внутренний диаметр вершины, внутренний диаметр основания, внешний диаметр, высота изделия и некруглость внешнего диаметра. Показано, что точность измерения резонансной частоты целесообразно повышать за счет уменьшения допуска на внутренние и внешний диаметры.

UDC 620.179.16 /N.I. Babenko /The model of Bayesian network for assessing the significance of the influencing factors in the systems of defectoscopy of mechanical properties of metals //The problems of information technologies. – 2012. –№1 (011). –Pp.00-00. Ref.: 9 titles, rus.

The article presents a model for evaluating the degree of importance of factors affecting the accuracy of the resonance frequency of autocirculation by acoustic method of nondestructive testing. It is proposed to use a hollow body of revolution as a testing object, herewith the following dimensional characteristics were investigated: the inner diameter of the top, the inner diameter of the base, the external diameter, the height of the sample and the non-roundness of the external diameter. It is shown that the accuracy of measurement of the resonance frequency should be increase by reducing the tolerance on the internal and external diameters.

УДК 004.657; 004.043 /П.П. Костенко /Теоретико-множинна модель інформаційної системи в задачі зовнішньої оптимізації SQL-запитів //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). - С.00-00. Бібл.: 17 назв., укр.

В роботі розглянуто існуючі моделі інформаційних систем, які надають можливість описати процеси виконання SQL-запитів, зазначені їх переваги та недоліки. Викладена теоретико-множинна модель інформаційної системи, яка дозволяє описати перетворення вхідних запитів до вихідних даних та дозволяє показати процес зовнішньої оптимізації SQL-запиту на основі локальної моделі керованого процесу. *Ключові слова:* теоретико-множинна модель, зовнішня оптимізація SQL-запитів, процеси виконання SQL-запитів.

УДК 004.657; 004.043 /П.П. Костенко /Теоретико-множественная модель информационной системы в задаче внешней оптимизации SQL-запросов //Проблемы информационных технологий. –2012. –№1 (011). –С.00-00. Библ.: 17 назв., укр.

В работе рассмотрены существующие модели информационных систем, которые предоставляют возможность описать процессы выполнения SQL-запросов, указаны их преимущества и недостатки. Изложенная теоретико-множественная модель информационной системы, которая позволяет описать преобразования входящих запросов к выходным данным и предоставляет возможность показать процесс внешней оптимизации SQL-запроса на основе локальной модели управляемого процесса. *Ключевые слова:* теоретико-множественная модель, внешняя оптимизация SQL-запросов, процессы выполнения SQL-запросов.

UDC 004,657; 004,043 /P. Kostenko /Set-theoretic model of the information system in the problem of the SQL-queries external optimization //The problems of the information technologies. – 2012. – №1 (011). –P.00-00. Ref.: 17 titles., ukr.

Paper deals with existing models of information systems, which provide the ability to describe the processes of the SQL-queries execution, shows their advantages and disadvantages. Set-theoretic model of information system is presented, it allows to describe the transformation of incoming queries to the output data and provides the possibility to show the process of the SQL-query external optimization, based on the local model of the controlled process. *Key words:* Set-theoretic model, SQL-queries external optimization, SQL-queries execution process.

УДК 681.3:007.52 /Пяшенко О.М. /Методи оцінки природної пожежної небезпеки лісового фонду (на прикладі Херсонської області) //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 5 назв., рос.

Наведено опис методів оцінки природної пожежної небезпеки. Проведена оцінка пожежної небезпеки лісового фонду Херсонської області, з урахуванням метеорологічних факторів (температури повітря, температури крапки роси, кількості опадів). *Ключові слова:* пожежна небезпека, метеорологічні фактори, лісова пожежа.

УДК 681.3:007.52 /Пяшенко Е.Н. /Методы оценки природной пожарной опасности лесного фонда (на примере Херсонской области) //Проблемы информационных технологий. – 2012. –№1 (011). –С.00-00. Библ.: 5 назв., рус.

Приведено описание методов оценки природной пожарной опасности. Проведена оценка пожарной опасности лесного фонда Херсонской области, с учетом метеорологических факторов (температуры воздуха, температуры точки росы, количества осадков). *Ключевые слова:* пожарная опасность, метеорологические факторы, лесной пожар.

UDC 681.3:007.52 /Lyashenko O.M. /Methods for assessing wildfire hazard of forest resources (for example, Kherson region) //The problems of information technologies. – 2012. –№1 (011). – Pp.00-00. Ref.: 5 titles, rus.

This article describes methods for assessing wildfire hazard forest reserve. The estimation of wildfire hazard Woodland Kherson region with the meteorological factors (air temperature, dew point temperature, precipitation). *Keywords:* fire hazard, meteorological factors, forest fire.

УДК 004.652:623.81 /О.В. Терещенкова /Аналіз критеріїв оцінки прийняття рішень у судноремонті //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). –С.00-00. Бібл.: 4 назв., укр.

Проводиться аналіз декількох критеріїв оцінок для прийняття рішень у судноремонті. На прикладах наведені розрахунки використання розглянутих критеріїв при різних умовах прийняття рішення керівником.

УДК 004.652:623.81 /О.В. Терещенкова /Анализ критериев оценки принятия решений в судоремонте //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 4 назв., укр.

Проводится анализ нескольких критериев оценок для принятия решений в судоремонте. На примерах приведены расчеты использования рассмотренных критериев при разных условиях принятия решения руководителем.

UDC 004.652:623.81 /O. Tereschenkova /The analysis of decision-making criteria in ship repair //The problems of information technologies. – 2012. –№1 (011). –P.00-00. Ref.: 4 titles, ukr.

The analysis of multiple criteria evaluation for decision making in ship repair. In the examples presented calculations using the criteria discussed under different conditions of decision-making guide.

УДК 656.612 /Шерстюк В.Г. /Метод покрокової верифікації рішень в сценарно-прецедентній інтелектуальній системі керування динамічними об'єктами //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 28 назв., рос.

Представлено метод покрокової верифікації рішень шляхом їх програвання на багатоагентній моделі спільної активності динамічних об'єктів, що придатний для використання в автоматичному режимі в сценарно-прецедентних інтелектуальних системах управління ДО реального часу. Присвоєння значень змінним і параметрами керуючих впливів в сценаріях запропоновано проводити шляхом покрокового розв'язування задачі динамічного задоволення обмежень. Метод працездатний в умовах неповноти і неточності вихідної інформації, а також жорстких часових обмежень на формування рішень. *Ключові слова:* інтелектуальна система, сценарно-прецедентний підхід, керування, план, сценарій, верифікація, модель, обмеження, параметр, агент.

УДК 656.612 /Шерстюк В.Г. /Метод пошаговой верификации решений в сценарно-прецедентной интеллектуальной системе управления динамическими объектами //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 28 назв., рус.

Представлен метод пошаговой верификации решений путем их проигрывания на многоагентной модели совместной активности динамических объектов, пригодный для использования в автоматическом режиме в сценарно-прецедентных интеллектуальных системах управления ДО реального времени. Присвоение значений переменным и параметрам управляющих воздействий в сценариях предложено производить путем пошагового решения задачи динамического удовлетворения ограничений. Метод работоспособен в условиях неполноты и неточности исходной информации, а также жестких временных ограничений на формирование решений. *Ключевые слова:* интеллектуальная система, сценарно-прецедентный подход, управление, план, сценарий, верификация, модель, ограничение, параметр, агент.

UDC 656.612 /Sherstyuk V.G. /Stepped solutions verification method for the scenario-case intelligent dynamic objects control system //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – Pp.00-00. Ref.: 28 titles, rus.

A method for incremental solution verification by playing them on the multi-agent model of dynamic objects joint activity is proposed. Method is suitable for use in automatic mode in a scenario-case intelligent control systems in real time. Assigning values to variables and parameters of actions in the scenarios is proposed to produce by step-to-step solution of dynamic constraint satisfaction problem. This method is efficient in terms of incomplete and inaccurate information source, as well as the tight time constraints on the solutions formation. *Keywords:* intelligent system, scenario-case approach, control, plan, scenario, verification, model, constraint, parameter, agent.

УДК 004.92 : 519.6 /Гучек П.Й. /Алгоритми візуалізації температурних полів у просторі /П.Й. Гучек //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 15 назв., укр.

Представлені результати дослідження та побудови алгоритмів візуалізації температурних полів використовуючи просторові серендипові скінчені елементи. Розроблена інтерактивна процедура візуалізації температурних полів за допомогою трилінійного та трикубічного скінченого елементів.
Ключові слова: метод скінченних елементів, серендипові скінченні елементи, функції форми, візуалізація ізоповерхні.

УДК 004.92 : 519.6 /Гучек П.И. /Алгоритмы визуализации температурных полей в пространстве /П.И. Гучек //Проблемы информационных технологий. ☒ 2012. ☒ №1 (011). ☒ С.00-00. Библ.: 15 назв., укр.

Представлены результаты исследования и построения алгоритмов визуализации температурных полей используя пространственные серендиповые конечные элементы. Разработана интерактивная процедура визуализации температурных полей с помощью трехлинейного и трехкубического конечного элементов.
Ключевые слова: метод конечных элементов, серендиповые конечные элементы, функции формы, визуализация изоповерхности.

UDC 004.92 : 519.6 /Guchek P.I. /The algorithms of temperature fields in space visualization /P.I. Guchek //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 15 titles, ukr.

The results of the study and construction of algorithms for visualization of temperature fields using spatial serendipity finite elements. Developed an interactive visualization process temperature fields using trilinear and trykubichnoho finite elements.
Keywords: finite element method, serendipity finite elements, form functions, visualization isosurface.

УДК 681.5 /А.В. Букетов, Л.В. Кравцова, А.П. Пірог /Прогнозування властивостей гетерогенних композитних систем з використанням методів математичного програмування //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 9 назв., укр.

Розроблено математичну модель для прогнозування властивостей композитних систем. Для отримання апріорної інформації про досліджувану систему використано її основні властивості, які різнобічно характеризують об'єкт. На наступному етапі проведено серію експериментів і побудовано математичну залежність властивості системи у вигляді функції від інших відомих характеристик, перевірено адекватність моделі до експериментальних даних.

УДК 681.5 /А.В. Букетов, Л.В. Кравцова, А.П. Пирог /Прогнозирование свойств гетерогенных композиционных систем с использованием методов математического программирования //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 9 назв., укр.

Разработана математическая модель для прогнозирования свойств композиционных систем. Для получения априорной информации об исследованной системе использованы ее основные свойства, которые разносторонне характеризируют объект. На следующем этапе проведена серия экспериментов и построена математическая зависимость свойства системы в виде функции от других известных характеристик, проверена адекватность модели к экспериментальным данным.

УДК 681.5 /A.V. Buketov, L.V. Kravtsova, A.P. Pirog /Predicting the properties of heterogeneous composite systems using mathematical programming methods //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 9 titles, ukr.

A mathematical model for predicting properties of composite systems. To obtain a priori information about the investigated system uses its basic properties, which are versatile characterizes the object. In the next stage, a series of experiments and a mathematical relationship properties of the system as a function of other known characteristics, verified the adequacy of the model to experiment.

УДК 004.3(075) /Веселовська Г.В., Чеклін А.Д., Кибалко І.І. /Концепції та методи вдосконалювання автоматизованих інформаційних систем з комп'ютерної графіки //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 29 назв., укр.

Проаналізовано специфіку інформаційних джерел і ресурсів галузі комп'ютерної графіки, обґрунтовано актуальність проблеми вдосконалювання інструментальних засобів для організаційного впорядковування роботи з ними. Запропоновано загальні концепції та методи застосування сучасних інформаційних технологій до вдосконалювання автоматизованих інформаційних систем з комп'ютерної графіки, що базуються на урахуванні специфіки даної галузі знань на поточному етапі її розвитку.

УДК 004.3(075) /Веселовская Г.В., Чеклин А.Д., Кибалко И.И. /Концепции и методы усовершенствования автоматизированных информационных систем по компьютерной графике //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 29 назв., укр.

Проанализирована специфика информационных источников и ресурсов области компьютерной графики, обоснована актуальность проблемы совершенствования инструментальных средств для организационного упорядочивания работы с ними. Предложены общие концепции и методы применения современных информационных технологий к совершенствованию автоматизированных информационных систем по компьютерной

UDC 004.3(075) /Veselovskaya G.V., Cheklin A.D., Kybalko I.I. /Conceptions and methods of the improvement for the automatical information systems on the computer graphics //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 29 titles, ukr.

The specificity of the information sources and resources of area of the computer graphics is analyzed, an urgency of the problem on improvement of the toolmaking means for an organization regulating of the work with them is justified. The general conceptions and methods of application of the modern information technologies to improvement of the automatical information systems on computer graphics, which based on registration of the specificity of this knoledge

Ключові слова: концепція, метод, автоматизована інформаційна система, комп'ютерна графіка, вдосконалювання.

графике, которые базируются на учете специфики данной области знаний на текущем этапе ее развития. *Ключевые слова:* концепция, метод, автоматизированная информационная система, компьютерная графика, совершенствование.

domain on the current stage of the development of them, are offered. *Keywords:* conception, method, automatical information system, computer graphics, improvement.

УДК 519.873 /Іванов Д.Є. /Алгоритм діагностичного моделювання НВІС //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). - С.00-00. Бібл.: 27 найм., рос.

У статті пропонується новий алгоритм діагностичного моделювання. Від відомих пропонований метод відрізняється можливістю реалізації кількох режимів роботи. В першому режимі для заданої вхідної послідовності відбувається обчислення відомих діагностичних мір. Другий режим призначений для роботи в еволюційних алгоритмах і полягає в обчисленні оціночної діагностичної функції вхідної послідовності щодо заданої множини нерозпізнаних несправностей. Застосування таких режимів роботи дозволяє використовувати даний алгоритм як ядро для побудови автоматизованої системи генерації діагностичних тестів НВІС. *Ключові слова:* цифровий пристрій, НВІС, діагностичне моделювання, діагностична міра, автоматизована система.

УДК 519.873 /Иванов Д.Е. /Алгоритм диагностического моделирования СБИС //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). - С.00-00. Библ.: 27 назв., рус.

В статье предлагается новый алгоритм диагностического моделирования. От известных предлагаемый метод отличается возможностью реализации нескольких режимов работы. В первом режиме для заданной входной последовательности происходит вычисление известных диагностических мер. Второй режим предназначен для работы в эволюционных алгоритмах и заключается в вычислении оценочной диагностической функции входной последовательности относительно заданного множества неразличимых неисправностей. Применение таких режимов работы позволяет использовать данный алгоритм в качестве ядра при построении автоматизированной системы генерации диагностических тестов СБИС.
Ключевые слова: цифровое устройство, СБИС, диагностическое моделирование, диагностическая мера, автоматизированная система.

UDC 519.873 /Ivanov D.E. /An algorithm for diagnostic fault simulation of VLSI //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). - C.00-00. Ref.: 27 titles, rus.

A new algorithm for diagnostic fault simulation is proposed. The main difference from the known methods is the use of two operating modes. In the first mode for a given input sequence the calculation of known diagnostic measures is performed. The second mode is used in evolutionary algorithms to calculate the diagnostic evaluation function relative to a given set of indistinguishable faults. The use of such modes of operation allows using this algorithm as the core for construction of automated diagnostic tests of VLSI. *Keywords:* digital device, VLSI, diagnostic simulation, diagnostic measure, the automated system.

УДК 681.325 /Козленко М.І. /Ефективність використання частотної смуги при формуванні широкосмугових сигналів в розподілених комп'ютерних та телекомунікаційних системах //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 14 назв., укр.

Проведено дослідження ефективності використання частотної смуги при формуванні широкосмугових шумоподібних сигналів у комунікаційних засобах розподілених комп'ютерних систем та мереж промислового призначення. Встановлено, що при формуванні широкосмугових сигналів з керованою ентропією більш рівномірно і ефективно використовується частотний ресурс. *Ключові слова:* комп'ютерна система, широкосмуговий сигнал, частотний ресурс, керована ентропія.

УДК 681.325 /Козленко Н.И. /Эффективность использования частотной полосы при формировании широкополосных сигналов в распределенных компьютерных и телекоммуникационных системах //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 14 назв., укр.

Проведено исследование эффективности использования полосы частот при формировании широкополосных шумоподобных сигналов в коммуникационных средствах распределенных компьютерных систем и сетей промышленного назначения. Установлено, что при формирование широкополосных сигналов с управляемой энтропией более равномерно и эффективно используется частотный ресурс.
Ключевые слова: компьютерная система, широкополосный сигнал, частотный ресурс, управляемая энтропия.

UDC 681.325 /Kozlenko M. I. /Frequency resource using of the spread spectrum signals forming in the distributed computer and telecommunication systems //The problems of information technologies. – 2012. –№1 (011). – P.00-00. Ref.: 14 titles, ukr.

Frequency band using evenness has been estimated for forming pseudorandom sequences signals and spread spectrum signals formed on the basis of the variable entropy method. It has been evaluated to use the frequency band more evenly than in comparison with traditional methods. *Keywords:* computer system, spread spectrum signal, frequency band, variable entropy.

УДК 004.932.2 /Соколова Н.А., Орел В.Е., Селезнева Г.О., Гусинін А.В., Колесник С.В. /Алгоритм напівавтоматичної сегментації зображень гістологічних препаратів //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 7 назв., рос.

Розглянуто питання побудови алгоритму напівавтоматичної сегментації зображень гістологічних препаратів. Проаналізовано особливості візуального аналізу зображень гістологічних препаратів та існуючі методи аналізу медичних зображень. Наведено результати моделювання алгоритму комп'ютеризованої сегментації зображень гістологічних препаратів, а також методику розробки алгоритму, який реалізовано у вигляді програмно-інструментального засобу. *Ключові слова:* комп'ютеризований аналіз зображень, алгоритм, сегментація, гістологічні препарати, гістологічні дослідження.

УДК 004.932.2 /Соколова Н.А., Орел В.Э., Селезнева А.А., Гусынин А.В., Колесник С.В. / Алгоритм компьютеризированной сегментации изображений гистологических препаратов //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. –№1 (011). – С.00-00. Библ.: 7 назв., рус.

Рассмотрены вопросы построения алгоритма компьютеризированной сегментации изображений гистологических препаратов. Проанализированы особенности визуального анализа изображений гистологических препаратов и существующие методы анализа медицинских изображений. Приведены результаты моделирования алгоритма компьютеризированной сегментации изображений гистологических препаратов, а также методика разработки алгоритма, которая реализована в виде программно-инструментального средства. *Ключевые слова:* компьютеризированный анализ изображений, алгоритм, сегментация, гистологические препараты, гистологические исследования

UDC 004.932.2 /Sokolova N.A., Orel V.E., Selezneva H.O., Gusynin A.V., Kolesnik S.V. /Algorithm for semiautomatic segmentation of histological specimen images //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 7 titles, rus.

Algorithm simulation questions for semiautomatic segmentation of histological specimen images are examined. Features of visual images analysis of histological specimens and exist methods for medical images analyses are analyzed. Results of algorithm simulation for semiautomatic segmentation of histological specimen images and algorithm design methodology, which realized as program-instrumental facility, are carried. *Keywords: computers* images processing, algorithm, segmentation, histological specimens, histological examination.

УДК 004.946 /Тимчук О.С. /Перспективний напрямок розвитку обчислювального інтелекту в індустрії відеоігор //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 26 назв., рос.

У статті описані результати детального аналізу стану індустрії відеоігор на світовому та українському ринках. Виділено основні напрями розвитку індустрії відеоігор в майбутньому. Для створення цікавого ігрового процесу запропоновано новий підхід до реалізації поведінки NPCs, заснований на парадигмі інтелекту, що розвивається. Враховуючи основні властивості інтелектуальних систем, що розвиваються, для побудови систем поведінки NPCs пропонується використовувати адаптивні нечіткі логічні системи на базі нечітких множин другого типу. *Ключові слова:* відеогра, NPC, NUI, Kinect, цікавість відеоігри, інтелект, що розвивається, нечітка адаптивна система, нечітка логічна система другого типу.

УДК 004.946 /Тимчук О.С. /Перспективное направление развития вычислительного интеллекта в индустрии видеоигр //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 26 назв., рус.

В статье описаны результаты детального анализа состояния индустрии видеоигр на мировом и украинском рынках. Выделены основные направления развития индустрии видеоигр в будущем. Для создания интересного игрового процесса предложен новый подход к реализации поведения NPCs, основанный на парадигме развивающегося интеллекта. Учитывая основные свойства развивающихся интеллектуальных систем, для построения систем поведения NPCs предлагается использовать адаптивные нечеткие логические системы на базе нечетких множеств второго типа. *Ключевые слова:* видеоигра, NPC, NUI, Kinect, интересность видеоигры, развивающийся интеллект, нечеткая адаптивная система, нечеткая логическая система второго типа.

UDC 004.946 /Tymchuk O. /Perspective direction of the development of computational intelligence in videogame industry //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 26 titles, rus.

This paper presents the results of detailed analysis of videogame industry in the world and Ukrainian markets. The basic directions of development of videogame industry are identified in the present paper with the view in the future. A new approach of realizing NPCs's behavior, which is based on the paradigm of evolving intelligence, is proposed for creating an interesting gameplay. Considering the basic properties of evolving intelligent systems, we propose to use adaptive type-2 fuzzy logic systems for building NPCs's behavior systems. *Keywords:* videogame, NPC, NUI, Kinect, enjoyment, evolving intelligence, fuzzy adaptive system, type-2 fuzzy logic system.

УДК 519.234.6 /І.І. Коваленко, А.В. Швед /Технологія побудови моделі ранжирування експертних оцінок на основі теорії правдоподібних та парадоксальних міркувань //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. –№1 (011). – С.00-00. Бібл.: 7 назв., рос.

УДК 519.234.6 /И.И. Коваленко, А.В. Швед /Технология построения модели ранжирования экспертных оценок на основе теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений //Проблемы информационных технологий. – 2012. –№1 (011). – С.00-00. Библ.: 7 назв., рус.

UDC 519.234.6 /Igor Kovalenko, Alyona Shved /A technology for constructing a ranking model of expert assessments based on the theory of plausible and paradoxical reasoning //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 7 titles, rus.

У статті розглянута процедура побудови моделі аналізу групових експертних оцінок на основі методів теорії правдоподібних і парадоксальних міркувань для вирішення задачі ранжирування, проведено аналіз видів взаємодії елементів множини вихідних даних.

УДК 62-52 /Лубяний В.З., Бражник Д.О. /Динаміка інформаційно-керуючих систем //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 5 назв.

У даній статті розглянуті питання побудови інформаційного простору та опису динаміки інформаційно-керуючих систем з урахуванням властивостей інформації і динаміки технічної частини системи, сформульовано основні завдання синтезу системи.

УДК 681.518 /Ткач В.О., Рожков С.О. /Особливості побудови систем керування в інтелектуальних інтерфейсах //Проблеми інформаційних технологій. –2012. –№1 (011). –С.00-00. Бібл.: 6 назв., рос.

Система керування в інтелектуальних інтерфейсах розглядається як керована динамічна система, оптимальне керування якої досягається шляхом мінімізації часу перехідного процесу. Керування в системі визначається чутливістю функції мети по траєкторії аналізу зображення.

УДК 004.7:004.272.26 /Галкін О.В. /Концепція адаптивного мовлення та системи автоматичної підготовки контенту //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 4 назв., укр.

Запропоновано реалізацію концепції адаптивного мовлення за допомогою сервера потокового медіа для вирішення проблеми «останньої милі» – забезпечення достатньої швидкості передачі даних користувачу при використанні сервісів онлайн трансляції медіа. *Ключові слова*: адаптивне мовлення;потокове відео; псевдопотоки.

В статье рассмотрена процедура построения модели анализа групповых экспертных оценок на основе методов теории правдоподобных и парадоксальных рассуждений для решения задачи ранжирования, проведен анализ видов взаимодействия элементов множества исходных данных.

УДК 62-52 /Лубяный В.З., Бражник Д.А. /Динамика информационно-управляющих систем //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 5 назв.

В данной статье рассмотрены вопросы построения информационного пространства и описания динамики информационно-управляющих систем с учетом свойств информации и динамики технической части системы, сформулированы основные задачи синтеза системы.

УДК 681.518 /Ткач В.А., Рожков С.А. /Особенности построения систем управления в интеллектуальных интерфейсах //Проблемы информационных технологий. – 2012. –№1 (011). –С.00-00. Библ.: 6 назв., рус.

Система управления в интеллектуальных интерфейсах рассматривается как управляемая динамическая система, оптимальное управление которой достигается путем минимизации времени переходного процесса. Управление в системе определяется чувствительностью функции цели по траектории анализа изображения.

УДК 004.7:004.272.26 /Галкин А.В. /Концепция адаптивного вещания и системы автоматической подготовки контента //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). –С.00-00. Библ.: 4 назв., укр.

Предложена реализация концепции адаптивного вещания при помощи сервера потокового медиа для решения проблемы «последней мили» – обеспечения достаточной скорости передачи данных пользователю при использовании онлайн трансляции медиа. *Ключевые слова:* адаптивное вещание; потоковое видео; псевдопотоки.

The procedure for constructing a ranking model of expert assessments based on the theory of plausible and paradoxical reasoning, and the analysis of types of interaction between the elements of the initial data set (frame) are considered in this article.

UDC 62-52 /Lubiany V.Z., Brazhnik D.A. /Dynamics of Information and Control Systems //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 5 titles.

This article describes how to build the information space and dynamics of management information systems by the nature of the information and the dynamics of the technical part of the system, the main tasks of the synthesis.

УДК 681.518 /Tkach V.A., Rozhkov S.A. /Special features of the control systems in intelligent interface //The problems of information technologies. – 2012. –№1 (011). –P.00-00. Ref.: 6 titles, rus.

The control system of intelligent interfaces is considered as controlled dynamical systems, optimal control is achieved by minimizing the time of transition. Control the system is determined by the sensitivity of the objective function along the path of image analysis.

UDC 004.7:004.272.26 /O.V. Galkin /The conception adaptive broadcasting and automatic preparing content system //The problem of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref.: 4 titles, ukr.

We proposed the realization of the concept of adaptive broadcast using streaming media server solution for the "last mile" problem – providing sufficient data rate to the user when using online services of broadcast media. *Key words:* adaptive broadcasting; streaming video; pseudo streaming.

УДК 004.94, 336.2 /Заболотнікова В.С. /Застосування нечіткої кластеризації для удосконалення контролю в податковій службі //Проблеми інформаційних технологій. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Бібл.: 12 назв., укр.

В цій статті розглянуто практичне застосування методу нечіткої кластеризації Густафсона-Кесселя для удосконалення контролю в податковій службі.

УДК 004.94, 336.2 /Заболотникова В.С. /Применение нечеткой кластеризации для усовершенствования контроля в налоговой службе //Проблемы информационных технологий. – 2012. – №1 (011). – С.00-00. Библ.: 12 назв., укр.

В этой статье рассмотрено практическое применение метода нечеткой кластеризации Густафсона-Кесселя для усовершенствования контроля в налоговой службе.

UDC 004.94, 336.2 /Zabolotnikova V.S. /Application of fuzzy clustering to improve the control of the tax service //The problems of information technologies. – 2012. – №1 (011). – P.00-00. Ref: 12 titles, ukr.

This article discusses the practical application of fuzzy clustering method, Gustafson-Kessel to improve control of the tax office.

Бабенко Н.И. 53
Бражник Д.А. 143
Букетов А.В. 95
Веселовська Г. В. 100
Галкін О.В. 153
Гусынин А. В. 121
Гучек П. Й. 88
Дымов В. С. 21
Дымова А. О. 21, 37
Ємельянова Д. І. 29
Заболотнікова В.С. 159
Забытовская О.И. 37
Иванов Д.Е. 107
Кибалко І. І. 100
Коваленко И.И. 136
Козленко М.І. 115
Козлов О. В. 12
Козуля М. М. 29
Козуля Т. В. 29
Колесник С.В. 121
Кондратенко Ю. П. 12
Костенко П. П. 57
Кравцова Л.В. 95
Лубяный В.З. 143
Ляшенко Е. Н. 65
Марасанов В. В. 21
Марасанов В.В. 37
Орел В.Э. 121
Писклакова В.П., 24
Писклакова О.А. 24
Пірог А.П. 95
Прокопчук Ю. А. 41
Рожков С.А. 149
Рудакова А. В. 21
Селезнева А.А. 121
Соколова Н.А. 6, 121
Терещенкова О.В. 69
Тимчук О. С. 128
Ткач В.А. 149
Хапов Д. В. 6
Ходаков В. Е. 6
Чеклін А.Д. 100
Шаронова Н. В. 29
Швед А.В. 136
Шерстюк В. Г. 76

К сведению авторов публикаций в сборнике «ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

«ПИТ» является периодическим научным журналом, рекомендованным ВАК Украины для опубликования научных работ с целью освещения полученных **новых научных и практических результатов, не публиковавшихся нигде ранее в открытой печати.**

Журнал принимает к рассмотрению статьи в следующие рубрики:

- Математическое моделирование;
- Информационные технологии;
- Информационная безопасность, компьютерные сети и телекоммуникации;
- Общие вопросы информатики;
- Краткие сообщения.

Объем статей до 10 стр., включая пункты (см. ниже): сведения об авторах и научные интересы. Статьи принимаются на **украинском**, **английском** и **русском** языках и публикуются на языке оригинала.

ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ И ОФОРМЛЕНИЮ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

В целях облегчения представления научных и практических результатов Редакционная коллегия рекомендует авторам придерживаться следующей структуры **научной** работы, содержащей основные разделы, которые могут иметь отличные от приведенных ниже наименования:

Введение (Слово «Введение» необязательно). Введение должно содержать:

- краткое освещение достигнутых результатов на сегодняшний день по рассматриваемой проблеме; актуальность проблемы; краткое описание задачи, определяющее её **актуальность и место** в общей научной или технической проблеме;
- освещение цели получения автором(ами) в статье принципиально **новых научных** и (или) практических результатов. Ориентировочный объем: ≤ 10 % от общего объема статьи.

Постановка задачи или проблемы. Включает:

- формулирование цели решения задачи;
- описание задачи, физической и (или) феноменологической модели объекта (процесса) исследования;
- общую постановку решения задачи, выбор метода решения и его обоснование.

Решение задачи (анализ проблемы - основной раздел статьи). Раздел должен содержать:

- определение области определения задачи, ограничений, граничных и (или) начальных условий задачи; оценку точности (погрешности) полученного решения;
- постановку задачи, включая разработку её математической модели;
- описание реализации метода решения;
- общее представление полученного решения.

Основные результаты и выводы. Приводится представление (в том или ином виде) **основных практических результатов**. Излагаются основные выводы по работе, дается представление и **оценка их научной новизны.**

При этом автор должен по содержанию статьи руководствоваться требованиями ВАК Украины (приведены в конце).

В **списке литературы** обязательно должны присутствовать как можно больше первоисточников по исследуемому вопросу (не более чем 3-4-летней давности). Не следует ограничиваться цитированием работ, которые принадлежат только одному коллективу авторов или исследовательской группе. Необходимой является ссылка на современные заграничные публикации. Статьи, которые не содержат ссылок на работы, опубликованные на протяжении последнего десятилетия, автоматически считаются не отвечающими редакционным требованиям.

При этом приведенные конкретные наименования разделов статьи являются необязательными.

Стиль основной части должен быть: логически последовательным, доказательным.

ОБЩИЙ ВИД НАУЧНОЙ СТАТЬИ:

УДК находится в верхнем левом углу.

Строкой ниже находится список авторов, выровненный по правому краю: **И.О. Фамилия, И.О. Фамилия**

НАЗВАНИЕ НАУЧНОЙ СТАТЬИ ПО ЦЕНТРУ

Введение. Основной текст статьи набирается шрифтом Times New Roman, размер 10. …

…… и т. д.

ЛИТЕРАТУРА:

6. Смирнов И.Н. Здоровье человека как философская проблема //Вопросы философии. – 1985. – №7. – С.24-26.
7. Гладун В.П. Планирование решений. – К.: Наукова думка, 1987. – 56 с.

Фамилия Имя Отчество, ученая степень, ученое звание, должность, место работы, телефон и E-mail для оперативной связи.

Научные интересы: ……

Структура **кратких сообщений** (к ним Редакция относит статьи объемом **до двух** страниц, включая литературу) – произвольная, но с обязательным последним разделом (см. выше): «Основные результаты и выводы».

Редакционная коллегия оставляет за собой право как не публиковать работы в случае их отклонения, так и принимать решение об их соответствие разделам журнала.

Для публикации автор должен предоставить в редакцию**:**

- электронный вариант статьи – файл, набранный в редакторе Microsoft Word for Windows, оформленный вместе с рисунками, таблицами и т.д., если таковые имеются;
- файл каждого рисунка - должен быть включен в статью, а также в виде отдельного файла;
- рукопись статьи (а именно - распечатку файла), подписанную автором (-ами);

Кроме основного текста, статья должна содержать:

- краткую аннотацию на украинском, английском и русском языках, включая УДК, фамилии авторов, название статьи, страницы, количество библиографических источников, язык и в конце ключевые слова, если они есть, - вся информация на трех языках (на отдельной странице);
- *Аннотация, соответствующая языку оригинала, определяет формат информационного файла для УРЖ «Джерело».* **ОБРАЗЕЦ**:

УДК 681.32 /Рогальский Ф.Б. /Концепция системы поддержки принятия управленческих решений в открытых технологических комплексах //Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. – № 3(16). - С. 250-258. Библ.: 6 назв., рус.

Рассмотрены вопросы разработки концепции системы поддержки принятия решений в открытых технологических комплексах, а также реализация разработанного подхода на примере комплекса «предприятие-город». Сформулированы требования к разработке СППР, отражены особенности реализации ее на базе конкретного предприятия как элемента комплекса.

Ключевые слова (если необходимы): системно-инструментальная среда, логически-информационная система, базы знаний.

- рецензию стороннего (не входящего в коллектив авторов) доктора наук по специальности, по которой подается статья;
- сведения об авторах (ФИО полностью, ученая степень, должность, название кафедры и вуза);
- научные интересы авторов;
- на отдельном листе и в виде файла: полные сведения об авторах, т.е. дополнительно – домашний и рабочий адреса и телефоны, E-mail (если есть) и др.;

В редакцию представляется вся перечисленная выше информация: распечатка статьи, аннотации и файл (дубликат рукописи), вместе со сведениями об авторах, их координатами и др.

Требования к оформлению рукописи:

1. Машинописные рукописи не принимаются.
2. Рисунки, содержащие кривые линии, следует выполнить на отдельных листах тушью или другим способом (напр., с помощью графического редактора) - четко, черным цветом.

На обороте каждого рисунка следует указать номер рисунка, название статьи и фамилии авторов. Предполагается ограничение как на количество ($\leq$5), так и на размеры рисунков.

3. Формулы должны быть напечатаны с учетом таких требований: начертание формул должно быть четким, принадлежность индексов ясна, дроби и скобки оформлены четко и ясно;
4. Список используемых источников помещается в конце статьи, нумеруется в соответствии с порядком появления тексте.

Требования к оформлению файла:

1. Параметры страницы (опция меню **ФАЙЛ, Параметры страницы**):

- размер бумаги - А4: 210×297 мм;
- ориентация листа - книжная (альбомная не допускается);
- поля: левое - 2,5 см, остальные – 2 см;

- переплет - 0 см;
- колонтитулы - 1 см;
- страницы без нумерации.

Весь текст должен быть набран шрифтом Times New Roman, размер 10 пт, межстрочный интервал - одинарный.
Для выделения **отдельных слов** допускается:

- **полужирное** начертание символов, а также использование *курсива* и подчеркивания;
- изменение интервала между символами;
- использование $^{\text{верхнего}}$ или $_{\text{нижнего}}$ индексов.

Цветовое оформление не допускается.

2. Абзац должен иметь следующий формат (опция меню: **ФОРМАТ, Абзац**):

- отступ слева и справа - 0 см;
- первая строка - отступ на 1,0 см;
- интервалы перед и после абзаца - 0 см;
- интервал между строками - одинарный;
- выравнивание - по ширине.

3. Рисунки должны быть черно-белыми и вставлены в файл и распечатку статьи. Формат рисунков (tif, pcx, bmp и др.) должен быть совместим с редактором текста **Microsoft Word**. Разрешение рисунков – не менее 300 dpi. Рисунки могут быть вставлены в текст при помощи следующих команд:

- **Добавить рисунок - Рисунок Microsoft Word;**
- **Добавить рисунок - Bitmap Image;**
- **Добавить рисунок - Рисунок Corel Draw.**

4. Формулы должны быть набраны при помощи встроенного редактора формул Equation Editor 2.0, 3.0. Все формулы вставляются в таблицу с не очерченным контуром, состоящую из двух колонок: в первой находится формула без абзаца и выровненная **по центру**, во второй - номер формулы (если такой имеется) тоже без абзаца и с выравниванием **по правому краю**. Граница между колонками таблицы устанавливается на отметке 14 см. В тексте формулы должны быть выделены сверху и снизу пустой строкой. Ниже приведен пример вставки формулы:

$$\lim_{\tau \to 0} \int_{0}^{\tau} \mathrm{P} d\tau = \text{п} \neq 0 \cdot \qquad (1)$$

Параметры в редакторе формул должны в точности соответствовать приведенным ниже.

Размеры (опция меню редактора Equation Editor: **РАЗМЕР, Определить** …):Обычный 10 пт.

- Крупный индекс 7 пт.
- Мелкий индекс 5 пт.
- Крупный символ 16 пт.
- Мелкий символ 10 пт.

Стили (опция меню **СТИЛЬ, Определить…**)

- Текст Times New Roman
- Функция Times New Roman
- Переменная Times New Roman
- Стр. греческие Symbol
- Пр. греческие Symbol
- Символ Symbol
- Матрица-вектор Times New Roman полужирный
- Числа Times New Roman

5. Таблицы создаются только при помощи Microsoft Word. Предполагается ограничение как на количество (≤5), так и на размеры таблиц (см. п. 8).
6. Суммарный объем рисунков и таблиц должен быть менее 50% объема основного раздела.
7. На основании данных «**Для публикации** …» формируется информационный файл о статье для реферативного журнала ДЖЕРЕЛО.

Просьба к авторам строго придерживаться требования Редколлегии. В противном случае Ваша статья не будет соответствовать требованиям информативного обеспечения национального реферативного журнала «Джерело», что автоматически влечет за собой отклонение статьи от публикации в текущем номере журнала.

1. В случае необходимости уточнения по оформлению статей – связь с ответственным редактором сборника к.т.н., доцентом БАРАНЕНКО Романом Васильевичем: Тел.: (0552) 51–57–31, E-mail: Magazinepit@ukr.net

2. Рукописи авторам не возвращаются.

Рукописи для рассмотрения Редколлегией сборника принимаются на кафедре Информационных технологий Херсонского национального технического университета по адресу: 73008, Украина, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24, ХНТУ, корп. 3, ауд. 318.

„ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ" №11 /2012/

Свідоцтво про реєстрацію КВ №11321-20 IP

ВИДАВЕЦЬ:
Херсонський національний технічний університет

Адреса редакції: 73008 м. Херсон,
вул. Бериславське шосе, 24, корп.3, а. 318
Телефони: 8(0552) 51-57-31, 32-69-66
e-mail: Magazinepit@ukr.net
Підписано до друку 30.06. 2012.
Формат видання 60x84/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 8. Тираж 300 прим.

Друк ПП «ОЛДІ-Плюс»: м. Херсон, вул. Московська, 5