

**ДЕРЖАВНА УСТАНОВА
“ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ”**

**ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА
БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ**

ВИПУСК 13

КИЇВ 2017

ISSN 2220-8585

Головний редактор
ДІВІЗІНІЮК Михайло Михайлович

Editor-in-chief
Diviziniuk M.M. (Ukraine)

Заступник головного редактора:
Забулонов Ю.Л. (Україна)

Deputy Editor:
Zabulonov Yu.L. (Ukraine)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Барбашев С.В. (Україна)
Белевцев Р.Я. (Україна)
Бондаренко Г.М. (Україна)
Верховцев В.Г. (Україна)
Дівізінюк М.М. (Україна)
Задвернюк Г.П. (Україна)
Коваленко Г.Д. (Україна)
Ковач В.О. (Україна)
Ольховик Ю.О. (Україна)
Покалюк В.В. (Україна)
Попов О.О. (Україна)
Тищенко Ю.Є. (Україна)
Улицький О.А. (Україна)
Фаррахов О.В. (Україна)
Чумаченко С.М. (Україна)
Шабалін Б.Г. (Україна)
Шмандій В.М. (Україна)
Яковлев Є.О. (Україна)
Яцишин А.В. (Україна)

EDITORIAL BOARD:

Barbashev S.V. (Ukraine)
Belevtsev R. Ya. (Ukraine)
Bondarenko G.M. (Ukraine)
Verkhovtsev V.G. (Ukraine)
Zadvernyk G.P. (Ukraine)
Kovalenko G.D. (Ukraine)
Kovach V.O. (Ukraine)
Olkhovik Yu.O. (Ukraine)
Pokaluk V.V. (Ukraine)
Popov O.O. (Ukraine)
Tyshchenko Yu.Y. (Ukraine)
Ylitskiy O.A. (Ukraine)
Farrakhov O.V. (Ukraine)
Chumachenko S.M. (Ukraine)
Shabalin B.G. (Ukraine)
Shmandiy V.M. (Ukraine)
Yakovlev Y.O. (Ukraine)
Yatsyshyn A.V. (Ukraine)

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Войчик В. (Польща)
Алієв Р. (Азербайджан)
Калінін М. (Білорусь)
Єременко В.А. (Росія)

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD:

Wojcik W. (Poland)
Aliev R. (Azerbaijan)
Kalinin M. (Belarus)
Eremenko V.A. (Russia)

Технічний секретар: Шкапенко В.В.
Редактор-перекладач англійського тексту: Міцюк Н.Б.
Редакційна підготовка до друку: Сорокотяга О.І.
Комп'ютерна верстка: Шкапенко В.В.

ЗАСНОВНИКИ:

Національна академія наук України
Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Державна установа “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”

Адреса редакційної колегії:

03680, Київ-142, пр. Палладіна, 34-А
ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”,
Тел. (044) 424 00 29, факс (044) 423 17 96. Електронна пошта: u-risk@ukr.net
Сайт журналу: tes.igns.gov.ua

Друкується за постановою Вченої ради ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”
Свідоцтво про державну реєстрацію ДЗМІ – серія КВ № 16163-4635Р від 30.12.2009 р.
Фахова реєстрація у ВАК України в галузі геологічних і технічних наук (екологічна безпека)
Постанова Президії ВАК України від 23.02.2011 № 1-05/2
У 2014 р. журнал включений до бібліографічної бази даних наукових публікацій РІНЦ НЕБ (Російський індекс наукового цитування Наукової електронної бібліотеки).
ТЕХНОГЕННО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ТА ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ
© *Державна установа “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”*

ЗМІСТ

Е.В. Азаренко, Н.А. Бородина, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк, Е.Д. Желяк, Т.В. Качур, О.Н. Мирошник, А.С. Рыжкин, А.П. Фесай Інженерно – технічний метод захисту людей від поразючих факторів незвичайних ситуацій, викликаних забрудненням атмосфери радіоактивними і отруйливими речовинами в населених пунктах	5
Ю.Л. Забулонов В.И. Рыжов С.И. Приемов, О.Н. Архипенко. Розрахунок ефективності уловлювання пилу в скрубберах вентури з використанням пульсаційної швидкості потоку	14
Г.В. Іванець, Б.Б. Поспелов, В.В. Тютюник, М.Г. Іванець Модель та метод комплексного прогнозування незвичайних ситуацій природного характеру	21
Киселёв Ю.В., Жебровская Е.И., Мельникова С.Л., Выхрестюк Н.И. Дослідження процесу протікання реакції холоднопламенного окислення вуглеводородів в реакторі октанометра ОК-2м.	30
В.В. Кукуєва, Т.М. Рига Обчислювальний підхід до пошуку шляхів утилізації фосфорорганічних сполук	50
А.А. Левтеров, В.В. Тютюник, В.Д. Калугин Обоснование выбора эффективного способа и параметров детектора для раннего обнаружения очага пожара на объектах жизнедеятельности	58
І.І. Назаренко, С.М. Шаляпін, Т.С. Шаляпіна, В.В. Литвиненко Мобільна дослідно-промислова установка очищення стоків звалищ промислових і побутових відходів від токсичних речовин з використанням озону та ультрафіолетового випромінювання	81
Д.Л. Соколов К вопросу проектирования несущих элементов силовых систем для инженерной и аварийно-спасательной техники	88
О.А. Улицький, О.В. Буглак, Н.О. Риженко., О.І. Тюрдьо Оцінка ступеня трансформації ґрунтів в умовах проведення бойових дій (збройного конфлікту)	93

CONTENS

<i>E. Azarenko, N. Borodina, Yu. Goncharenko, M. Divisinuk, E. Zhelyak, T.Kachur, O. Miroshnik, A.S. Ryzhin, A.P. Fesay</i>	5
The engineering technology method for the civilization of people of all the defensive factors of supporting situations, viclicans to the frozen atmosphere by radioactive disorders in the populations of populations	
<i>Zabulonov Yu.L., Ryzhov V.I., Priemov S.I., Arkhipenko O.N.</i>	14
Calculation of the effectiveness of dust sounding in venturi scrubbers with the use of pulsation flow speed	
<i>G.V. Ivanets, B.B. Pospelov, V.V. Tiutiunyk, M. G. Ivanets</i>	21
Model and method of complex forecasting of natural emergency situations	
<i>Kyselov Yu.V., Zhebrovskaya K.I., Melnikova S.L., Vykhrestyuk N.I.</i>	30
Investigating the way a cold-flame oxidation reaction of hydrocarbons in the ok-2m octanometer reactor.	
<i>VV.Kukueva, T.M. Riga</i>	50
Computational approach to search for the phosphorusorganic compounds utilization	
<i>A.A. Levterov, V.V. Tiutiunyk, V.D. Kalugin</i>	58
Justification of the efficient choice method and parameters of the detector for early findings of the fire seat on objects of activity	
<i>I.I.Nazarenko. S.M.Shalyapin, T.S.Shalyapina, V.V.Lytvynenko</i>	81
Mobile experimental and industrial unit for cleaning of industrial and home wastes from toxic substances by using ozone and ultraphyoletic radiation	
<i>D. Sokolov</i>	88
The question of design elements bearing for power systems engineering and rescue equipment	
<i>Ulytskyi O.A., Buglak O.V., Ryzhenko N.O., Tiurdo O.I.</i>	93
Evaluation of the degree of transformation of soils in the conditions of conduct of operations (armed conflict)	

**Е.В. АЗАРЕНКО¹, Н.А. БОРОДИНА¹, Ю.Ю. ГОНЧАРЕНКО¹,
М.М. ДИВИЗИНЮК¹, Е.Д. ЖЕЛЯК¹, Т.В. КАЧУР², О.Н. МИРОШНИК²,
А.С. РЫЖКИН¹, А.П. ФЕСАЙ¹**

1 - Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды Национальной академии наук Украины», г. Киев

2 - Национальный университет гражданской защиты, г. Харьков.

ИНЖЕНЕРНО – ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ ОТ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫЗВАННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ АТМОСФЕРЫ РАДИОАКТИВНЫМИ И ОТРАВЛЯЮЩИМИ ВЕЩЕСТВАМИ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

Рассматриваются инженерно – технические методы защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах, на основе которого разрабатываются конкретные методики защиты населения от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы, возникающих при техногенных авариях и катастрофах на охраняемых объектах критической инфраструктуры и при чрезвычайных ситуациях террористического характера.

Введение

Последние десятилетия Украина остается в статусе страны техногенных аварий и катастроф, которые сопровождаются загрязнением атмосферы и распространением опасных и токсичных химических соединений. Пожары, происходящие в Чернобыльской зоне и других «мертвых» лесных массивах, приводят не только к химическому, но и к радиоактивному загрязнению воздушной среды [1, 2].

Как показывает мировой опыт, в качестве грязных бомб террористы могут использовать радиоактивные и отравляющие вещества, которые взрывной волной выбрасываются в атмосферу и ветром разносятся на большие расстояния [3-5]. С этой точки зрения защита объектов критической инфраструктуры сужается до защиты персонала, а также военнослужащих и населения от поражения токсичными и радиоактивными веществами, распыленными в атмосфере. Для этого могут использоваться временные укрытия в населенных пунктах, расположенных в непосредственной близости с объектами критической инфраструктуры. Эти временные укрытия представляют собой условно герметичные помещения внутри заранее обследованных домов и строений. Оснащение этих помещений малогабаритными фильтровентиляционными установками, работающими от переносных источников электропитания или от действующих электрических сетей, позволит защитить военнослужащих и население от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы [6-9].

Исходя из сказанного выше, разработка новых инженерно-технических методов защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы во временных укрытиях в населенных пунктах, возникающих при техногенных авариях и катастрофах на охраняемых объектах критической инфраструктуры, является актуальной научной задачей.

Постановка цели и задач научного исследования

Целью данной работы является разработка инженерно-технического метода защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие научные задачи. Первоначально проанализировать структуру управляющего алгоритма и блоки, входящие в его состав. Затем рассмотреть инженерно-технический метод защиты людей от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах и описание процедур его применения.

Структура управляющего алгоритма инженерно-технического метода

Схема управляющего алгоритма инженерно-технического метода защиты войск и населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах, представлена на рис. 1.

Управляющий алгоритм состоит из десяти блоков, размещенных на шести уровнях. Первый уровень алгоритма – ввод исходных данных. На этом уровне располагается пять блоков. Первый – параметры условно герметичных помещений и их расположение. Второй – количество укрываемых людей и их расположение. Третий – характеристика загрязнения. Четвертый – гидрометеорологическая обстановка. Пятый – геоинформационная система региона.

Первый блок исходных данных требует введения данных условно герметичных помещений (их геометрические размеры, размеры оконных и дверных проемов, материал, из которых двери и окна изготовлены) и характеристики зданий или сооружений, в которых они располагаются (кирпичная кладка, деревянный сруб, железобетонная конструкция). Кроме этого вводятся данные о вместимости этих помещений и географические координаты зданий, в которых они расположены.

Второй блок исходных данных требует введения числа укрываемых человек, наименования одежды и снаряжения, которые имеются на них, а также координаты их местоположения. Как правило, это может быть число жителей, проживающих в этом поселке или число работников, обеспечивающих функционирование фермы или другого сельскохозяйственного предприятия. Эти люди могут находиться как на этом предприятии, так и в непосредственной близости от него. Их местонахождение ограничивается периметром точек, координаты которых необходимо ввести в исходные данные.

Третий блок исходных данных определяется характером чрезвычайной ситуации. Это может быть взрыв с выбросом отравляющих или высокотоксичных веществ, пожар, нештатная ситуация на АЭС, приводящая к выбросу радиоактивных веществ в атмосферу, и другие. Здесь возможны два варианта ввода данных. Первый, когда вводится вид опасного вещества, его объем и физико-химические характеристики, его источник (координаты выброса) и величина его предельно допустимой концентрации. Второй, когда вводится потенциально опасный объект, располагающийся в пределах рассматриваемого региона, вид аварии и тип выброса опасных веществ в атмосферу.

Четвертый блок исходных данных определяется фактической или прогнозируемой гидрометеорологической обстановкой. Это атмосферное давление, направление и сила ветра, температура и влажность атмосферного воздуха, гидрометеорологические явления в виде осадков и других явлений.

Пятый блок исходных данных – это данные, отраженные в геоинформационной системе региона, в котором произошла авария. Основу геоинформационной системы, как правило, составляет трехмерная цифровая карта. Аппаратно программные средства,

обеспечивающие работу геоинформационной системы, позволяют не только определять координаты географической точки, ее высоту над поверхностью Земли (или глубину залегания под поверхностью Земли), но и отображать движение воздушных масс, атмосферных фронтов, площадей, покрываемых атмосферными осадками.

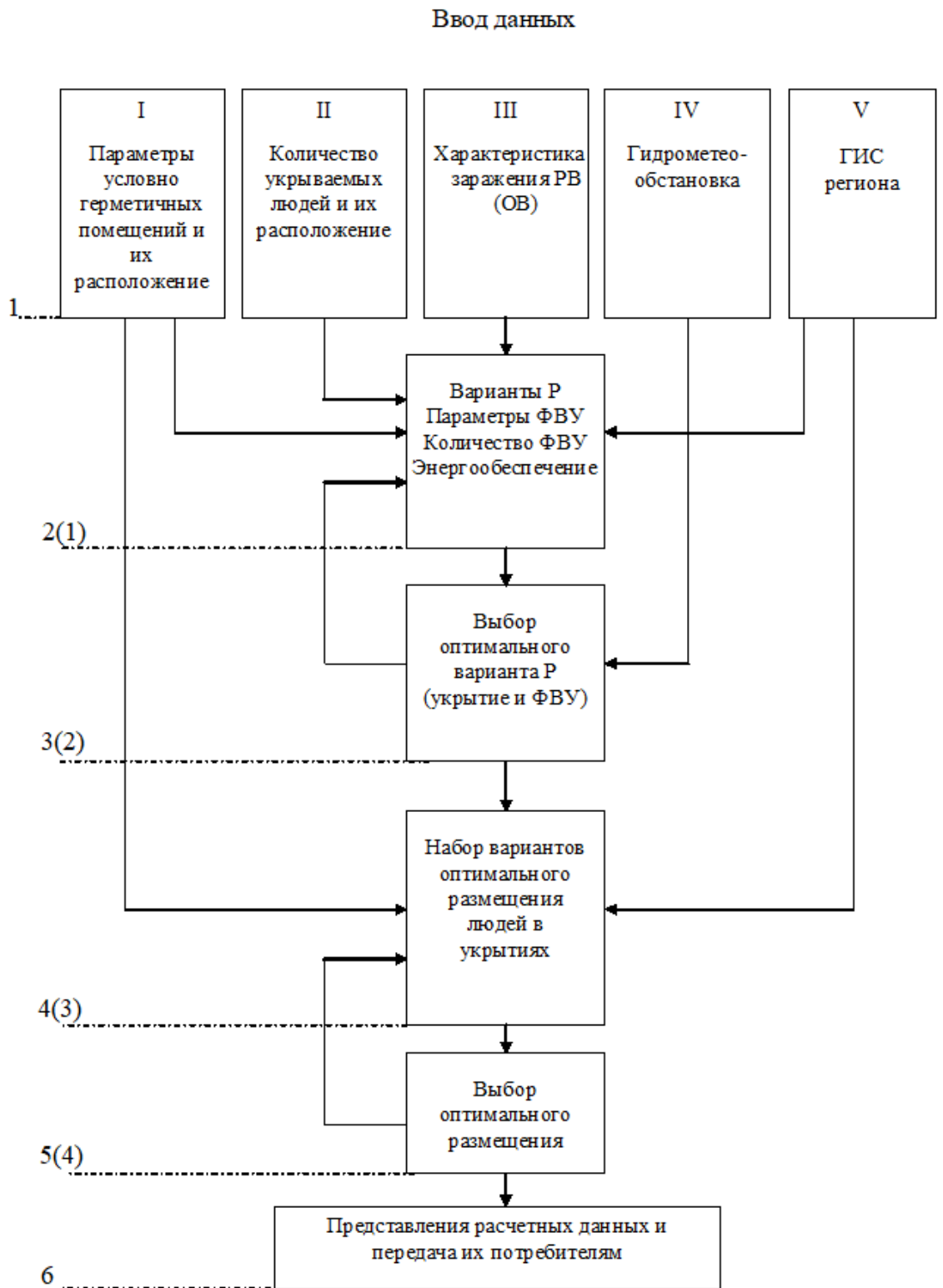


Рис.1. Схема управляющего алгоритма

Геоинформационная система позволяет решать задачи определения параметров распространения облака радиоактивных веществ, возникающего при взрыве грязных бомб или аварийных выбросах на ядерных объектах, и графически отображает территорию, которая может быть заражена вследствие выпадения радиоактивных осадков. Подобные расчеты и их графическое отображение также могут производиться в случае химических аварий или пожаров.

На втором иерархическом уровне (первый расчетный уровень) располагается первый расчетный блок, который носит название «Варианты Р». Сюда поступают данные об условно герметичных помещениях и их расположении из первого блока исходных данных. Со второго блока исходных данных поступают сведения о количестве укрываемых людей и их расположении. С третьего блока исходных данных поступает информация о характеристиках загрязнения воздушной среды радиоактивными или отравляющими веществами. Пятый блок исходных данных предоставляет все сведения, которые имеются в геоинформационной системе. На основании полученных данных производится первый этап расчетов, результатом которого являются варианты размещения людей в условно герметичных помещениях, а также параметры фильтровентиляционных установок, которые обеспечивают подачу чистого воздуха в эти помещения, и их количество. Результатом расчетов являются и сведения о необходимом энергообеспечении работы фильтровентиляционных установок, типе и количестве агрегатов, которые это энергообеспечение могут обеспечить.

Следующий, третий иерархический уровень или второй расчетный уровень, содержат второй расчетный блок, который носит название – выбор оптимального «Варианта Р». В этот блок кроме результатов расчетов, поступающих из первого расчетного блока, поступают данные о фактической и прогнозируемой гидрометеорологической обстановке. Обратная связь с первым расчетным блоком позволяет делать перебор полученных результатов, производить новые расчеты в интересах получения оптимального решения, обеспечивающего укрытие людей в конкретных погодных условиях.

На четвертом иерархическом уровне (третий расчетный уровень) располагается третий расчетный блок, который носит название «Набор вариантов оптимального размещения людей в укрытиях». В этот расчетный блок кроме результатов, полученных во втором расчетном блоке, также поступают данные из первого блока исходных данных об используемых условно герметичных помещениях и из пятого первого блока исходных данных, которые предоставляет геоинформационная система. Варианты размещения людей, полученные в этом расчетном блоке, поступают на следующий иерархический уровень.

Пятый иерархический уровень или четвертый расчетный уровень содержат четвертый расчетный блок, который носит название «Выбор оптимального размещения». Этот блок имеет обратную связь с предыдущим уровнем, что, в свою очередь, позволяет делать перебор вариантов в интересах получения оптимального размещения людей в укрытиях с учетом всех рассматриваемых факторов. Полученный оптимальный вариант размещения людей передается на шестой иерархический уровень в блок представления расчетных данных и передаче их потребителям.

На этом иерархическом уровне полученные данные представляются в табличном виде, в виде формуляров на электронной карте или другим интерфейсе, который может быть изменен пользователем.

Утвержденное решение о размещении людей и использовании защитных средств как соответствующие распоряжения и приказы в формализованном виде транслируется исполнителям.

Таким образом, управляющий алгоритм инженерно-технического метода защиты войск и населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах, состоит из десяти структурных блоков, расположенных на шести иерархических уровнях, соединенных логическими связями. Первоначально он позволяет в зависимости от вида аварии и степени опасности, радиоактивных или отравляющих веществ, распространяющихся в атмосфере, числа укрываемых людей и параметров условно герметичных помещений выбрать из арсенала имеющихся средств защиты тип и количество фильтровентиляционных установок и способы их энергообеспечения. Затем он позволяет определить оптимальный вариант размещения людей в помещениях населенного пункта и средства энергообеспечения средств защиты с учетом гидрометеорологической обстановки и местных условий. После принятия решения на укрытие и защиту населения и военнослужащих от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере, он обеспечивает доведение принятого решения в виде формализованных распоряжений и приказов исполнителям.

Описание инженерно-технического метода защиты людей и процедур его применения

Инженерно-технический метод защиты войск и населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах, предназначен для определения оптимального варианта размещения людей в условно герметичных помещениях населенного пункта с учетом параметров этих помещений, числа укрываемых людей, имеющихся фильтровентиляционных установок и способов их энергообеспечения, гидрометеорологической обстановки и местных условий.

Использование метода предусматривает выполнение следующих процедур:

- 1) определение исходных данных;
- 2) ввод исходных данных;
- 3) выбор условно герметичных помещений в населенном пункте и типов фильтровентиляционных установок;
- 4) выбор оптимального размещения людей в условно герметичных помещениях и способов энергообеспечения средств защиты;
- 5) принятия решения на укрытие и защиту населения и военнослужащих от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере;
- 6) передача расчетных данных потребителям.

Первая процедура - определение исходных данных. Она предусматривает определение исходных данных по пяти группам. Первая группа исходных данных включает в себя параметры условно герметичных помещений и их расположение. Здесь, в первую очередь, вводятся параметры зданий, расположенных в населенном пункте. Это могут быть железобетонные конструкции или здания из кирпичной кладки, стены которых надежно изолируют и не допускают просачивания зараженного воздуха через поры. Дома, построенные из бревен, не обладают подобной герметичностью, их стены могут пропускать элементарные воздушные потоки вследствие пористости материала, из которого они изготовлены. Вторая характеристика – размеры оконных и дверных проемов, материал из которых двери и окна изготовлены. Чем меньше размеры, тем меньше опасность возникновения негерметичностей, через которые опасные вещества могут попасть внутрь помещений. Материалы, из которых изготовлены двери и окна, также могут быть пористыми. Кроме этого, подгонка оконных створок, фрамуг, форточек

и входных дверей может не обеспечивать должной герметичности и поэтому будет требовать выполнения дополнительных мероприятий по их изоляции во время укрытия людей. Третий параметр – это геометрические размеры помещений, в которых будут укрываться люди.

Вторая группа данных – число человек, укрываемых в населенном пункте, их вид одежды и имеющегося снаряжения. Если воинское подразделение находится на марше, то необходимы координаты его местоположения. В случае гражданского варианта это может быть число жителей, проживающих в этом поселке или число работников, обеспечивающих функционирование фермы или другого сельскохозяйственного предприятия. Местоположение этих людей определяется периметром точек, координаты которых необходимо ввести.

Третья группа данных определяет вид опасного вещества и его количество, распыленное в атмосфере. Процедурой предусмотрено два варианта ввода данных. Первый, когда вводится потенциально опасный объект, располагающийся в пределах рассматриваемого региона, вид аварии и тип выброса опасных веществ в атмосферу. Второй, когда вводится вид опасного вещества, его объем и физико-химические характеристики, его источник (координаты выброса) которые регистрируются стационарными системами радиационного и экологического мониторинга. Этот режим ручного ввода может использоваться и для превентивных расчетов, когда вводятся данные предполагаемого выброса и анализируется развитие конкретной ситуации.

Четвертая группа данных определяется фактической или прогнозируемой гидрометеорологической обстановкой. Это атмосферное давление, направление и сила ветра, температура и влажность атмосферного воздуха, гидрометеорологические явления в виде осадков и других явлений.

Пятый блок исходных данных определяется интерфейсом решаемых задач геоинформационной системой.

Вторая процедура – ввод исходных данных. Эта процедура предусматривает первоначальный и уточняющий ввод данных. Первоначальный ввод данных – это превентивная процедура, когда вводятся данные всех проектных и запроектных аварий всех потенциально-опасных и техногенных объектов, находящихся в административном регионе (или регионе, определяемом зоной ответственности соответствующего военного начальника). Все эти данные заранее вводятся в систему и при возникновении фактической аварии только уточняются. При наличии уточненных данных производится уточненный ввод, на основании которого корректируются ранее выполненные расчеты. Первоначальный ввод также относится к вводу параметров условно герметичных помещений, имеющих в населенных пунктах, расположенных в непосредственной близости к потенциально опасному объекту, и к арсеналу средств защиты, имеющемуся в распоряжении аварийно-спасательных подразделений. Главным результатом ввода данных является отображение всех введенных координат, начиная от места аварии и заканчивая местами расположения людей, которых необходимо поместить в укрытия. В исходных данных также должны отображаться движение воздушных масс, атмосферных фронтов, площадей, покрываемых атмосферными осадками. Уточняющий ввод данных производится непосредственно после катастрофического события, когда стационарные системы радиационного и экологического мониторинга зафиксируют вид распространяющегося загрязнения и его концентрацию.

Третья процедура – это выбор условно герметичных помещений в населенном пункте и типов фильтровентиляционных установок. При предварительной проработке решаемой задачи, заранее определяются здания и расположенные в них условно герметичные помещения, которые могут потенциально использоваться для укрытия людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения воздушной

среды. Число выбранных помещений, которые планируется использовать для укрытия людей, должно в 2 - 3 раза превышать минимальное число помещений, необходимых для укрытия всех жителей этого населенного пункта. Это объясняется тем, что на момент внезапно возникшей аварии часть из этих помещений окажется не в состоянии выполнять предназначенные им функции (например, вследствие ремонта, реконструкции и т.п.). Также возможно, что на момент аварии рядом с населенным пунктом окажутся транспортные средства с людьми, или, в силу других причин, в населенном пункте окажется гораздо больше людей, чем постоянно проживающих жителей (например, во время празднования юбилеев, во время свадьбы и т.п.). Возникающие чрезвычайные ситуации и в подобных условиях должны быть предусмотрены и действия спланированы. По эти причинам в арсенале средств защиты должно быть достаточное количество и фильтровентиляционных установок, средств энергообеспечения.

Конкретные события, возникающие при фактической аварии, используют материал, который уже имеется в базе банных, сформированных при выполнении первой и второй процедур.

Четвертая процедура – выбор оптимального размещения людей в условно герметичных помещениях и способов энергообеспечения средств защиты. Эта процедура может выполняться как при проведении превентивных расчетов, так и при возникновении фактической обстановки. Здесь по данным определенного выброса опасных веществ в атмосферу и фактическим гидрометеорологическим условиям производится расчет площадей, которые подвергаются опасному загрязнению, и определяются населенные пункты, в которых необходимо укрыть людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения. По числу людей, укрываемых в каждом населенном пункте, производится подбор вариантов оптимального размещения людей в условия использования минимального количества фильтровентиляционных установок при условии их бесперебойного питания. Подобный подбор производится для каждого населенного пункта, попадающего в зону загрязнения.

Пятая процедура – это принятие решения на укрытие и защиту населения и военнослужащих от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере. Это решение принимает административный или воинский начальник в соответствии со своими компетенциями.

Шестая процедура – это передача расчетных данных потребителям. Она может быть превентивной и фактической. Превентивная форма предусматривает заблаговременное приготовление средств защиты, их комплектацию средствами электропитания, наличие необходимых транспортных средств для их доставки и специально подготовленных людей для их установки. Фактическая форма – это рассылка формализованных распоряжений и приказов на фактическое развертывание сил и средств защиты по укрытию и защите населения и военнослужащих в населенных пунктах от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере.

Таким образом, инженерно-технический метод защиты войск и населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах, предназначен для определения оптимального варианта размещения людей в условно герметичных помещениях населенного пункта с учетом параметров этих помещений, числа укрываемых людей, имеющихся фильтровентиляционных установок и способов их энергообеспечения, гидрометеорологической обстановки и местных условий. Его применение предусматривает последовательное выполнение следующих процедур: определение исходных данных; ввод исходных данных; выбор условно герметичных помещений в населенном пункте и типов фильтровентиляционных установок; выбор

оптимального размещения людей в условно герметичных помещениях и способов энергообеспечения средств защиты; принятия решения на укрытие и защиту населения и военнослужащих от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере; передача расчетных данных потребителям.

Выводы

1. Управляющий алгоритм инженерно-технического метода защиты войск и населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах, состоит из десяти структурных блоков, расположенных на шести иерархических уровнях, соединенных логическими связями. Первоначально он позволяет, в зависимости от вида аварии и степени опасности, радиоактивных или отравляющих веществ, распространяющихся в атмосфере, числа укрываемых людей и параметров условно герметичных помещений, выбрать из арсенала имеющихся средств защиты тип и количество фильтро-вентиляционных установок и способы их энергообеспечения. Затем он позволяет определить оптимальный вариант размещения людей в помещениях населенного пункта и средства энергообеспечения средств защиты с учетом гидрометеорологической обстановки и местных условий. После принятия решения на укрытие и защиту населения и военнослужащих от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере, он обеспечивает доведение принятого решения в виде формализованных распоряжений и приказов исполнителям.

2. Инженерно-технический метод защиты войск и населения от поражающих факторов чрезвычайных ситуаций, вызванных загрязнением атмосферы радиоактивными и отравляющими веществами в населенных пунктах предназначен для определения оптимального варианта размещения людей в условно герметичных помещениях населенного пункта с учетом параметров этих помещений, числа укрываемых людей, имеющихся фильтровентиляционных установок и способов их энергообеспечения, гидрометеорологической обстановки и местных условий. Его применение предусматривает последовательное выполнение следующих процедур: определение исходных данных; ввод исходных данных; выбор условно герметичных помещений в населенном пункте и типов фильтровентиляционных установок; выбор оптимального размещения людей в условно герметичных помещениях и способов энергообеспечения средств защиты; принятия решения на укрытие и защиту населения и военнослужащих от поражающих факторов радиоактивного или химического загрязнения, распространяющегося в атмосфере; передача расчетных данных потребителям.

1. Кулаков М.А. Цивільна оборона. – Харків: НТУ-ХПІ, 2005. – 125 с.
2. Кодекс Цивільного захисту України (КЦЗУ). – 2016. Доступ: www.urist-ua.net
3. Гончаренко Ю.Ю. Структура контура управления информационной безопасностью предприятия / Ю.Ю. Гончаренко // “Экономика и управление”. – №5. – Симферополь: НАПКС, 2012. – С. 97 – 101.
4. Гончаренко Ю.Ю. Оценка эффективности управления чрезвычайной ситуацией / Ю.Ю. Гончаренко, Е.В. Азаренко, Ю.В. Браславский и др. // Сб. науч. Тр. СНУЯЭиП. – Вып. 2 (38). – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – С. 239 – 245.
5. Гончаренко Ю.Ю. Защита информации – как один из ключевых аспектов предотвращения чрезвычайных ситуаций / Ю.Ю. Гончаренко, Е.Е. Смычков, В.В. Рыбко // Зб. наук. праць СНУЯЭтаП. – Вип. 1 (41). – Севастополь: СНУЯЭтаП, 2012. – С. 207 – 211.
6. Гончаренко Ю. Ю. Теоретическое решение задачи защиты людей от поражающих факторов радиоактивного и химического загрязнения атмосферы / Ю. Ю. Гончаренко, О. М. Мирошник, О. А. Высотенко, Т. В. Качур, А. С. Рыжкин //

Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2017. – № 3 (59). – С. 127 – 132.

7. Азаренко Е.В. Характеристика информации о ситуационном фоне около охраняемого объекта критической инфраструктуры (на примере автомобильных транспортных средств) / Е. В. Азаренко, Н. А. Бородин, Н. В. Касаткина, Г. В. Камышенцев, С. В. Лазаренко, Е. А. Рыбка // Науково-технічний збірник «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні» – Київ: Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації України, НТУУ «КПІ», 2017. – Вип. 1 (33). – С. 39 – 51.

8. Азаренко Е.В. Математическая модель выявления признаков чрезвычайных ситуаций террористического характера против объектов критической инфраструктуры с использованием автомобильных транспортных средств / Е. В. Азаренко, Н. А. Бородин, О. А. Высотенко, М. М. Дивизинюк, Н. В. Касаткина, С. В. Лазаренко // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2017. – № 2 (58). – С. 194 – 169.

9. Азаренко Е.В. Математическая модель выявления нештатных ситуаций террористического характера с использованием образов людей, находящихся около объектов критической инфраструктуры / Е. В. Азаренко, Н. А. Бородин, М. М. Дивизинюк, Н. В. Касаткина, С. В. Лазаренко, Е. А. Рыбка // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2017. – № 3 (59). – С. 141 – 145.

Е.В. Азаренко, Н.А. Бородин, Ю.Ю. Гончаренко, М.М. Дивизинюк, О.Д. Желяк, Т.В. Качур, О.Н. Мирошник², А.С. Рижкін, О.П. Фесай
ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ МЕТОД ЗАЩИТЫ ЛЮДЕЙ ОТ ВРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ НАДЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ВЫКЛИКАНИХ ЗАБРУДНЕНИЯМ АТМОСФЕРЫ РАДИОАКТИВНЫМИ И ОТРУЙНЫМИ РЕЧОВИНАМИ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ

Розглядається інженерно-технічний метод захисту людей від вражаючих факторів надзвичайних ситуацій, спричинених забрудненням атмосфери радіоактивними і отруйними речовинами в населених пунктах, на основі якого розробляються конкретні методики захисту населення від вражаючих факторів радіоактивного та хімічного забруднення атмосфери, які виникають при техногенних аваріях і катастрофах на об'єктах критичної інфраструктури, що охороняються і при надзвичайних ситуаціях терористичного характеру

E. Azarenko¹, N. Borodina¹, Yu. Goncharenko¹, M. Divisinuk¹, E. Zhelyak¹, T. Kachur², O. Miroshnik², A.S. Ryzhin¹, A.P. Fesay¹
THE ENGINEERING TECHNOLOGY METHOD FOR THE CIVILIZATION OF PEOPLE OF ALL THE DEFENSIVE FACTORS OF SUPPORTING SITUATIONS, VICLICANS TO THE FROZEN ATMOSPHERE BY RADIOACTIVE DISORDERS IN THE POPULATIONS OF POPULATIONS

The engineering and technical method of protection of people from the impressive factors of emergency situations caused by pollution of the atmosphere with radioactive and poisonous substances in settlements, on the basis of which are developed concrete methods of protection of the population from the impressive factors of radioactive and chemical pollution of the atmosphere, arising from man-made accidents and accidents on Protection of critical infrastructure and emergencies of a terrorist nature

Ю.Л. ЗАБУЛОНОВ В.И. РЫЖОВ С.И. ПРИЕМОВ, О.Н. АРХИПЕНКО.

Государственное учреждение «Институт геохимии окружающей среды Национальной академии наук Украины», г. Киев

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ В СКРУББЕРАХ ВЕНТУРИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУЛЬСАЦИОННОЙ СКОРОСТИ ПОТОКА

Предложен новый метод расчета эффективности улавливания в скруббере Вентури аэрозолей с неизвестными физико-химическими параметрами при одном значении уровня энергозатрат, основанный на использовании определяющего влияния на эффективность улавливания пыли величины пульсационной динамической скорости газового потока в горловине трубы Вентури.

Постановка проблемы

В технике пылеулавливания при оценке эффективности очистки в скрубберах Вентури особенности каждой пыли учитываются путем экспериментального определения значений коэффициентов (B, x) в уравнении [1].

$$\eta = 1 - \exp(-BK_T^x), \quad (1)$$

Так, например, для условий улавливания высокодисперсной сажи при загрузке коксовых батарей Ясиновского коксохимического завода автором экспериментально определены значения коэффициентов в уравнении (1) [2]:

$$\eta = 1 - \exp(-0,019K_T^{0,57}) \quad (2)$$

Однако, зачастую такие данные отсутствуют, и для их определения требуются значительные затраты времени и объем исследований в конкретных производствах.

Для таких случаев ранее автором предложен метод расчета эффективности очистки в скруббере Вентури с использованием величины колмогоровского внутреннего микромасштаба турбулентности « λ_0 » на основании данных испытаний эффективности системы очистки с трубой Вентури только в одном режиме работы [3].

В работе Приёмова С.И. [3] также упомянуто о возможности использования для расчета процесса очистки в скруббере Вентури и другого важного параметра процесса улавливания пыли – с использованием величины пульсационной динамической скорости газового потока « u_p ». Развитие такого направления расчетов приведено в настоящей работе.

Объект теоретических исследований

Разработка нового метода аналитических расчетов эффективности очистки от пыли и золы в скрубберах Вентури по результату испытания системы очистки только в одном режиме работы с использованием полученных результатов для расчетного обоснования возможности повышения эффективности очистки от золы и пыли дымовых газов для других различных условий работы системы очистки в скрубберах Вентури.

Предмет исследований

Оценка возможности использования величины пульсационной динамической скорости газового потока (при одном значении скорости газа в горловине и величине удельного орошения газа водою) для прогнозирования параметров эффективности очистки скруббера Вентури при других значениях величины пульсационной динамической скорости газового потока для данного вида пыли.

Прогнозирование возможности повышения эффективности очистки в скрубберах Вентури при организации осциллирующих режимов потока газов перед конфузуром и каплеуловителем.

Цель работы

Целью работы является разработка аналитических и компьютерных методов расчетов, направленных на повышение эффективности очистки дымовых газов в различных условиях работы скрубберов Вентури, с возможностью достижения норм стран ЕС по выбросу пыли и золы в окружающую среду обитания.

Изложение основного материала и экспериментальные исследования

Основная идея модернизации состоит в повышении величины пульсационной динамической скорости газового потока (при одном значении скорости газа в горловине и величины удельного орошения газа водою) с целью получения возможности прогнозирования параметров эффективности очистки скруббера Вентури при других значениях величины пульсационной динамической скорости газового потока.

В настоящей работе предлагается новый метод расчета эффективности улавливания пыли в скруббере Вентури, основанный на использовании определяющего влияния на эффективность улавливания пыли в скруббере Вентури величины пульсационной динамической скорости потока газа в горловине (u_*) [3].

В предлагаемом методе применяется схема вероятностного расчета параметров очистки « $d_{\eta=50}$ » и « t » [1] на основании оценки величины пульсационной динамической скорости потока газа в горловине (u_*) [3].

Расчет выполняется в следующей последовательности:

$$- Re = \frac{u_z d_z}{\nu_z} \quad (3)$$

– число Рейнольдса для потока газа в горловине трубы Вентури;

$$- u_* = \frac{0,354 u_{ex}}{1,8 \lg Re - 1,64} \quad (4)$$

– пульсационная динамическая скорость газового потока в горловине трубы Вентури;

$$- d_{\eta=50} \quad (5)$$

– диаметр «отсечения» или диаметр частиц, улавливаемых с эффективностью 50% – определяется по данным эксперимента и расчетным путем;

$$- t = \frac{\lg d_{50} - \lg d_{\eta 50}}{\sqrt{\lg^2 \sigma_n + \lg^2 \sigma_{\eta}}} \quad (6)$$

– параметр общей степени пылеочистки, где величина $\lg \sigma_n = 0,29$ для труб Вентури [1], а величины « d_{50} » и « σ_n » определяются по данным эксперимента.

Общая степень очистки определяется по таблицам [4] или, при их отсутствии – по эмпирическим зависимостям [5]:

$$\eta_{\text{общ}} = 50 + 44t - 10(t)^2, \text{ (для } 50\% \leq \eta_{\text{общ}} \leq 98\%), \quad (7)$$

$$\eta_{\text{общ}} = 105,4 - \frac{15}{t}, \text{ (для } \eta_{\text{общ}} \geq 98\%), \quad (8)$$

Для установления зависимости величины « $d_{\eta=50}$ » от значений « u_* », в таблицах 1–6 приведены данные испытаний скрубберов Вентури в условиях различных производств, для разных дисперсностей и видов пылей. Расчетные величины $(d_{\eta=50})^p$, $(\eta)^p$ в таблицах 1–6 определялись по зависимостям (9), (10), (11).

Таблица 1. Опыты автора по оценке эффективности очистки скруббера Вентури ($d_{50}=9$ мкм; $\sigma_n=2,33$; $l=0,3$ м; $d=0,076$ м; $t_r=20$ °С; ПЫЛЬ-ТАЛЬК) [5].

V_r , м/сек	50	60	70	80
u_* , м/сек	2,19	2,58	2,97	3,35
$(\eta)^p$, %	92,7	95,6	97,2	98,2
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	1,886	1,5	1,272	0,9364
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	1886	1,44	1,14	0,9353
$(\eta)^p$, %	92,7	95,5	97,3	98,2

Таблица 2. Опыты П.А. Коузова по оценке эффективности очистки в скруббере КМП ($d_{50}=8$ мкм; $\sigma_n=3,75$; $d=0,145$ м; $t_r=20$ °С; ПЫЛЬ-КВАРЦ) [6].

V_r , м/сек	30	40	50	60	70	80
u_* , м/сек	1,28	1,66	2,04	2,408	2,77	3,13
$(\eta)^p$, %	85,0	92,0	95,0	96,8	97,8	98,0
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	1,715	1,0	0,695	0,414	0,5095	0,385
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	–	1,05	0,717	0,526	0,4	0,322
$(\eta)^p$, %	–	91,5	94,5	96,7	97,7	98,3

Таблица 3. Опыты П.А. Коузова по оценке эффективности очистки в скруббере КМП ($d_{50}=5$ мкм; $\sigma_n=3,75$; $d=0,145$ м; $t_r=20$ °С; ПЫЛЬ-КВАРЦ) [6].

V_r , м/сек	40	50	60	70	80
u_* , м/сек	1,71	2,095	2,472	2,844	3,212
$(\eta)^p$, %	87,0	93,0	96,0	97,7	98,8
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	0,9384	0,5589	0,3747	0,259	0,1787
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	0,9384	0,564	0,3735	0,263	0,194
$(\eta)^p$, %	87,0	93,0	96,0	97,7	98,6

Таблица 4. Опыты Л.И.Ещенко по оценке эффективности очистки в скруббере Вентури ($d_{50}=1,85$ мкм; $\sigma_n=3$; $d=0,066$ м); Вентури каолиновой пыли ($d=0,066$ м; $d_{50}=1,85$ мкм; $\sigma_n=3$; $\rho_n=2550$ кг/м³; $t_r=102...133$ °С; $m=0,8$ л/м³; $\rho=2550$ кг/м³; ПЫЛЬ-каолин) [7].

V_r , м/сек	50	60	70	80
u_* , м/сек	2,26	2,663	3,059	3,464
$(\eta)^s$, %	75,0	88,0	92,5	95,0
$(d_{\eta=50})^s$, мкм	0,7717	0,4057	0,29	0,2246
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	–	0,47	0,285	0,216
$(\eta)^p$, %	–	85,8	92,8	95,3

Таблица 5. Опыты по оценке эффективности очистки в скруббере Вентури парового котла «ТП-10» паропроизводительностью 220 т/ч ($d_{50}=25$ мкм; $\sigma_n=2$; $d=0,68$ м; $t_r=150$ °С; $m=0,8$ л/м³; $\rho=2200$ кг/м³; ПЫЛЬ-зола ТЭЦ) [8].

V_r , м/сек	60	65	70	75
u_* , м/сек	2,247	2,418	2,52	2,757
$(\eta)^s$, %	94,1	95,1	96	96,4
$(d_{\eta=50})^s$, мкм	5,57	5,13	4,5	4,1
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	–	5,0	4,5	4,1
$(\eta)^p$, %	–	95,3	96,25	97,0

Таблица 6. Опыты автора по оценке эффективности очистки в ударно-инерционном скруббере Вентури Ясиновского коксохимического завода производительностью 60000 м³/ч ($d_{50}=2$ мкм; $\sigma_n=3,5$; $t_r=60$ °С; $m=1$ л/м³; ПЫЛЬ-высокодисперсная сажа) [2].

V_r , м/сек	60	80	100 ^{*)}	117 ^{*)}
K_3 , кДж/1000м ³	2000	6000	9500	12500
d_z , м	0,6	0,52	0,52	0,52
u_* , м/сек	2,208	2,91	3,57	4,14
$d_{\eta=50}^s$, мкм	0,54	0,27	–	–
$(\eta)^s$, %	82,8	92,2 ^{*)}	–	–
$(d_{\eta=50})^p$, мкм	–	0,236	0,1418 ^{*)}	0,082 ^{*)}
$(\eta)^p$, %	–	93,2 ^{**)}	96,87 ^{*)} 97 ^{**)}	98,44 ^{*)} 98,36 ^{**)}
$\frac{(1-\eta^s)}{(1-\eta^p)} 100, \%$	–	12,3	–	–
n	–	3	3	3

^{*)} – расчетные данные по предлагаемой методике (по формулам 9-11);

** – расчетные данные по формуле (2).

Оценка обработки данных таблиц показала достаточно высокий коэффициент корреляции величины динамической скорости с величиной « η », равный 0,9.

В различных по конструктивному выполнению скрубберах Вентури, что свидетельствует о значительном влиянии на эффективность очистки от пыли величины «диффузионного пограничного слоя», как известно, прямо пропорциональной величине « $u_{ж}$ » [3].

На этом основании в данной работе предлагается новый метод оценки эффективности очистки в скрубберах Вентури от различных аэрозолей с неизвестными значениями коэффициентов в уравнении (1).

В основе такого метода лежит возможность прогнозирования эффективности очистки в скрубберах Вентури при различных значениях энергозатрат по результату всего лишь одного испытания на конкретной пыли, то есть при одном уровне энергозатрат и при известном значении величины « $u_{ж}$ ».

Последнее оказывается возможным в связи с тем, что отношения величин диаметров «отсечения» ($d_{\eta=50}$) пыли проведенного одного испытания к величине диаметра «отсечения» ($d_{\eta=50}$) в любых других режимах работы скруббера Вентури на данной пыли (при отличающихся значениях величин энергозатрат от испытанного одного режима ее работы), может быть рассчитано по зависимости

$$(d_{\eta=50})^p = (d_{\eta=50})^3 \left(\frac{u^*}{u^p} \right)^n, \quad (9)$$

где показатель степени « n » является функцией величины « d_{50} » - медианного диаметра пыли и может быть рассчитан по зависимостям:

$$n = 3,4 - 0,2 d_{50} \text{ (для пылей с } d_{50} < 10 \text{ мкм)}, \quad (10)$$

$$n = 1,67 - 0,0067 d_{50} \text{ (для пылей с } d_{50} > 10 \text{ мкм)}, \quad (11)$$

Одним из первых применений приведенного выше метода было внедрение 10 установок мокрого коагулятора Вентури (МКВ-15) единичной производительностью по очищаемому газу по 15 тыс. м³/ч на Фастовском заводе химического и нефтяного машиностроения «Красный Октябрь» при очистке аспирационных выбросов из дробеструйных камер (№860, 861) и мест шликерования участка № 2 эмалировочного цеха, а также ряда установок мокрого коагулятора Вентури (МКВ-15) на Киевском редуكتورном заводе.

В связи с отсутствием данных об эффективности очистки скрубберами Вентури таких аэрозолей, на Фастовском заводе первоначально было проведено исследование степени очистки аспирационных выбросов из дробеструйных камер в модельном скруббере Вентури (с $d = 0,076$ м) при одном уровне энергозатрат. Затем, используя результаты испытаний в модельном скруббере Вентури, были разработаны, внедрены и исследованы промышленные скрубберы «МКВ-15» на Фастовском заводе химического и нефтяного машиностроения «Красный Октябрь» при очистке аспирационных выбросов из дробеструйных камер.

В таблице 7 приведены результаты испытаний в производственных условиях модельного скруббера Вентури и промышленных установок «МКВ-15», а также расчетов по приведенной выше методике.

Таблица 7. Результаты исследования эффективности улавливания пыли в модельном и промышленном скрубберах Вентури (при $d_{50}=12,3$ мкм; $\sigma_n = 3$) [3] и расчетов значений « η^p ».

Тип скруббера	d , м	V_r , м/с	η^s , %	u_* , м/сек	$(d_{\eta=50})^s$, мкм	η^p , %
Модель	0,076	60	99,5	2,58	0,4348	–
МКВ–15	0,3	60	98,0	2,28	0,529	96,4
МКВ–15	0,3	52	97	2,0	1,083	96,1

$$n = 1,67 - 0,0067 d_{50} = 1,59 \text{ (для пылей с } d_{50} > 10 \text{ мкм).}$$

Средняя ошибка расчетных величин « η^p » по предлагаемому методу составила для данных таблицы 1,25 %, что вполне удовлетворительно [5].

Приведенные в таблице 6 данные испытания автора системы очистки газов от сажи в ударно-инерционном скруббере Вентури Ясиновского коксохимического завода [2] также всего в одном режиме работы (при скорости газа в горловине трубы Вентури 60 м/сек), позволили рассчитать и реализовать режим работы трубы Вентури при скорости в горловине 80 м/сек – за счет уменьшения диаметра горловины с 0,6м на диаметр 0,52 м.

Кроме того, предлагаемый метод расчета позволил спрогнозировать эффективность очистки для достижения конечной запыленности газов 100 мг/м³ (при скорости в горловине 100 м/сек) и до 50 мг/м³ (при скорости в горловине 117 м/сек).

При оценке в таблице 5 эффективности очистки в скруббере Вентури парового котла «ТП-47» паропроизводительностью 220 т/ч ($d_{50} = 25$ мкм; $\sigma_n = 2$; $d = 0,68$ м; $t_r = 150$ °С; $m = 0,8$ л/м³; $\rho = 2200$ кг/м³; пыль-зола ТЭЦ) [8], расчетные и экспериментальные данные достаточно близки? и это позволяет прогнозировать возможность получать высокие показатели по степени очистки при повышении величины пульсационной скорости газового потока.

Так, например, при повышении в два раза величины пульсационной скорости газового потока и сохранении неизменной его скорости, например, 60 м/сек, можно получить такую эффективность очистки, которую возможно достигнуть только при повышении скорости газового потока до 120 м/сек и, соответственно, в разы большем сопротивлении газового потока.

Выводы

Предложен новый метод расчета эффективности улавливания различных аэрозолей с неизвестными физико-химическими свойствами в скруббере Вентури по результатам всего одного испытания, при одном значении уровня энергозатрат, основанный на использовании определяющего влияния на эффективность улавливания пыли величины пульсационной динамической скорости газового потока в горловине трубы Вентури.

Сокращения

d_r – диаметр горловины;

d_{50} – медианный диаметр пыли;

$d_{\eta 50}$ – параметр пофракционной степени очистки (диаметр частиц пыли, улавливаемых с эффективностью 50%);

K_r – расход энергии на очистку 1000 м³ газа, (кДж);

m – величина удельного орошения (л/м³);

ΔP – величина гидравлического сопротивления (кПа);

Re_g , – критерий Рейнольдса ;
 t – температура, параметр эффективности очистки;
 u_p – пульсационная динамическая скорость, м/сек;
 V – скорость, м/сек;
 η – эффективность очистки;
 λ_0 – колмогоровский внутренний микромасштаб турбулентности;
 ν – коэффициент кинематической вязкости;
 ρ – плотность, (кг/м³);
 ΔP – гидравлическое сопротивление;
 σ – стандартное отклонение распределения частиц пыли по размерам.
 Индексы верхние: р – расчет; э – эксперимент;
 Индексы нижние: г – газ; п – пыль.

1. Вальдберг А.Ю. К расчету эффективности мокрых пылеуловителей // ТОХТ. – 1987. – № 3. – С. 407–411.
2. Приемов С.И., Редин В.А., Серебрянский Д.А. Повышение эффективности улавливания высокодисперсной сажи при загрузки коксовых батарей // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, № 1. – С. 66-69.
3. Приемов С.И. Новый метод расчета эффективности улавливания пыли в скрубберах Вентури // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 1. – С. 82-87.
4. Коузов П.А., Мальгин А.Д., Скрябин Г.М. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности. – Л.: Химия, 1982. – 256 с.
5. Механические скрубберы: монография /С.И. Приемов – К: Кафедра, 2016. – 207 с.
6. Коузов П.А., Мыльников С.И. Сравнительная оценка и рекомендации по унификации мокрых пылеуловителей // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. – 1971, вып. 74 – С. 17-23.
7. Брыляков В.Е., Ещенко Л.И., Шагарова Б.А. и др. Оптимизация турбулентных промывателей при обеспыливании тонкодисперсных каолиновых аэрозолей. // Тр. НИПИОТСТРОМ. – 1974. – вып. 8. – С. 38-44.
8. Семиков Ф.П., Ужеск Г.Л. Очистка дымовых газов золоуловителями – Киев.: Техника, 1975. –168 с.

Ю.Л. Забулонов В.И. Рыжов С.И. Приемов, О.Н Архипенко.

РОЗРАХУНОК ЕФЕКТИВНОСТІ УЛОВЛЮВАННЯ ПИЛУ В СКРУБЕРАХ ВЕНТУРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПУЛЬСАЦІЙНОЇ ШВИДКОСТІ ПОТОКУ

Запропоновано новий метод розрахунку ефективності уловлювання в скруббері Вентури аерозолів з невідомими фізико-хімічними параметрами, при одному значенні рівня енерговитрат, що заснований на використанні визначального впливу на ефективність уловлювання пилу величини пульсаційної динамічної швидкості газового потоку в горловині труби Вентури.

Zabulonov Yu.L., Ryzhov V.I., Priemov S.I., Arkhipenko O.N.

CALCULATION OF THE EFFECTIVENESS OF DUST SOUNDING IN VENTURI SCRUBBERS WITH THE USE OF PULSATION FLOW SPEED

A new method for calculating the capture efficiency in the venturi scrubber is proposed for aerosols with unknown physicochemical parameters, with a single value of the energy consumption level, based on the use of the determining effect on the efficiency of dust trapping, the values of the pulsating dynamic velocity of the gas flow in the Venturi neck.

Г.В. ІВАНЕЦЬ¹, Б.Б. ПОСПЄЛОВ¹, В.В. ТЮТЮНИК¹, М.Г. ІВАНЕЦЬ²

¹Національний університет цивільного захисту України, Харків

²Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

МОДЕЛЬ ТА МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ

Представлено модель та метод комплексного прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами, рівнями та місяцями року на основі статистичних даних моніторингу.

Обґрунтування проблеми

Сучасний період розвитку суспільства характеризується все більшими протиріччями між людиною і навколишнім природним середовищем. Вони призводять до виникнення стихійних лих, катастроф і надзвичайних ситуацій (НС), наслідки яких можуть бути жахливими.

Населення і територія Землі з великою кількістю об'єктів господарювання знаходиться під негативним впливом більш як 50 небезпечних природних і техногенних процесів. В залежності від конкретних природно-кліматичних умов і геліофізичних факторів, кожного року (або ряду років) підвищуються ризики одних із них і знижуються ризики інших [1 – 3].

Виникнення НС природного характеру значною мірою залежить від перебігу погодних умов, які на території України мають значну мінливість. В Україні впродовж останніх 15 років спостерігається тенденція щодо зменшення НС природного характеру, а саме, від 139 НС у 2000 році до 56 – у 2013 році [4 – 12]. За останні п'ять років в Україні щорічно виникає в середньому близько 80 НС природного характеру, збитки від яких становлять 80% – 90% загальної суми збитків, завданих НС природного і техногенного характеру.

Захист населення і територій від НС природного характеру є одним з основних завдань системи цивільного захисту України. Забезпечення безпеки у НС потребує надійного функціонування системи реагування на НС природного характеру, адекватної рівням і характеру загроз [13].

Запобігання виникненню НС природного характеру – це комплекс правових, соціально-економічних, політичних, організаційно-технічних та інших заходів, спрямованих на регулювання природної безпеки, проведення оцінки рівнів ризику, завчасне реагування на загрозу виникнення НС природного характеру на основі даних моніторингу, експертизи, досліджень та прогнозів щодо можливого перебігу подій з метою недопущення їх переростання у НС або пом'якшення їх можливих наслідків [14 – 16].

Важливим аспектом цієї діяльності є завчасне прогнозування можливості виникнення НС природного характеру. Тому розробка моделі та методу комплексного прогнозування НС природного характеру в цілому, за видами, рівнями та місяцями року є актуальною задачею.

Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел з означеної проблематики довів, що в більшості з них для вирішення цієї задачі застосовуються методи регресійного аналізу, в меншій мірі досліджено статистично – імовірнісні методи, які використовують дані за деякий період спостереження [16 – 21].

Прогнозування, оцінка і попередження НС природного характеру можливі лише на основі моніторингу.

Прогнозування виникнення НС природного характеру включає прогноз катастрофічного розвитку природних процесів і явищ окремо: геологічних (зсуви, селі тощо); гідрометеорологічних (паводки, затоплення тощо); кліматичних (засухи, пожежи); медико-біологічних (епідемії, масові захворювання тварин тощо), а також сумісного їх впливу.

Моделі та методи вирішення задачі комплексного прогнозування можливості виникнення НС природного характеру в цілому, за видами, рівнями та місяцями року досліджені недостатньо.

Постановка задачі та її розв'язання

Метою цієї роботи є розробка моделі та методу комплексного прогнозування НС природного характеру з врахуванням їх періодичних змін в цілому, за видами, рівнями та місяцями року на основі статистичних даних моніторингу.

Прогноз можливої загальної кількості НС природного характеру за видами та рівнями, у відповідності з основною гіпотезою про природу передбачення майбутнього, має здійснюватися на основі вивчення, аналізу і узагальнення попереднього досвіду – історії передбачуваного явища. Такі дані щорічно наводяться в національних доповідях про стан техногенної та природної безпеки в Україні.

НС природного характеру виникають при звичайних природних явищах, які виникають в навколишньому середовищі і створюють загрозу людині і умовам її проживання. За видами НС природного характеру розділяються на [22, 23]:

а) геологічні (на поверхні Землі): селі; оповзні; обвали; лавини; змиви схилів; просадка порід; ерозія (руйнування водою, вітром, людиною); абразія (руйнування берегів хвилями); пилові бурі;

б) метеорологічні (процеси, які проходять в атмосфері – зміна температури, вологості, тиску, швидкості руху повітря): бурі, урагани, смерчі, шквали; сильні опади (ливні, град, снігові заноси, ожеледиця); сильні морози, спека; засуха;

в) гідрологічні морські: циклони, тайфуни; хвилювання моря більше 5 балів; сильні приливи і відливи; лід на судах і спорудах тощо;

г) гідрологічні річні: високий рівень води – повінь, затори льоду, сплави дерев; ранній льодохід;

д) гідрогеологічні: зниження чи підвищення рівня ґрунтових вод; природні пожежі: лісові, степові, польові; торф'яні; горючих корисних копалин (вугілля, нафта, сланець);

з) медико-біологічні:

- захворювання людей на особливо небезпечні та небезпечні інфекційні хвороби; отруєння людей токсичними та іншими речовинами;

- захворювання сільськогосподарських тварин на особливо небезпечні та небезпечні інфекційні хвороби; масові токсичні отруєння свиней;

- напруження фітосанітарної ситуації сільськогосподарських посівів за рахунок патогенних організмів і шкідників та високої забур'яненості полів.

За рівнями, залежно від обсягів заподіяних наслідків, технічних і матеріальних ресурсів, необхідних для їх ліквідації, НС класифікуються як: НС державного рівня; НС регіонального рівня; НС місцевого рівня; НС об'єктового рівня.

Модель комплексного прогнозування НС природного характеру в цілому, за видами та рівнями на основі статистичних даних в Україні наведено на рис. 1.

Модель включає об'єднані в єдине ціле та ув'язані між собою вхідними і вихідними даними та іншими параметрами модулі, кожний з яких вирішує конкретні завдання.

Модуль 1 уявляє собою базу даних про НС природного характеру на основі моніторингу за деякий період. Ці дані є основою для проведення відповідних оцінок в модулях 2, 3, 4, 5.

Модуль 2 призначений для оцінки загальної кількості НС природного характеру n_{npPX} в Україні на момент прогнозу.

Із врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів процес зміни НС природного характеру доцільно представити у вигляді адитивної суміші систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складових [24]:

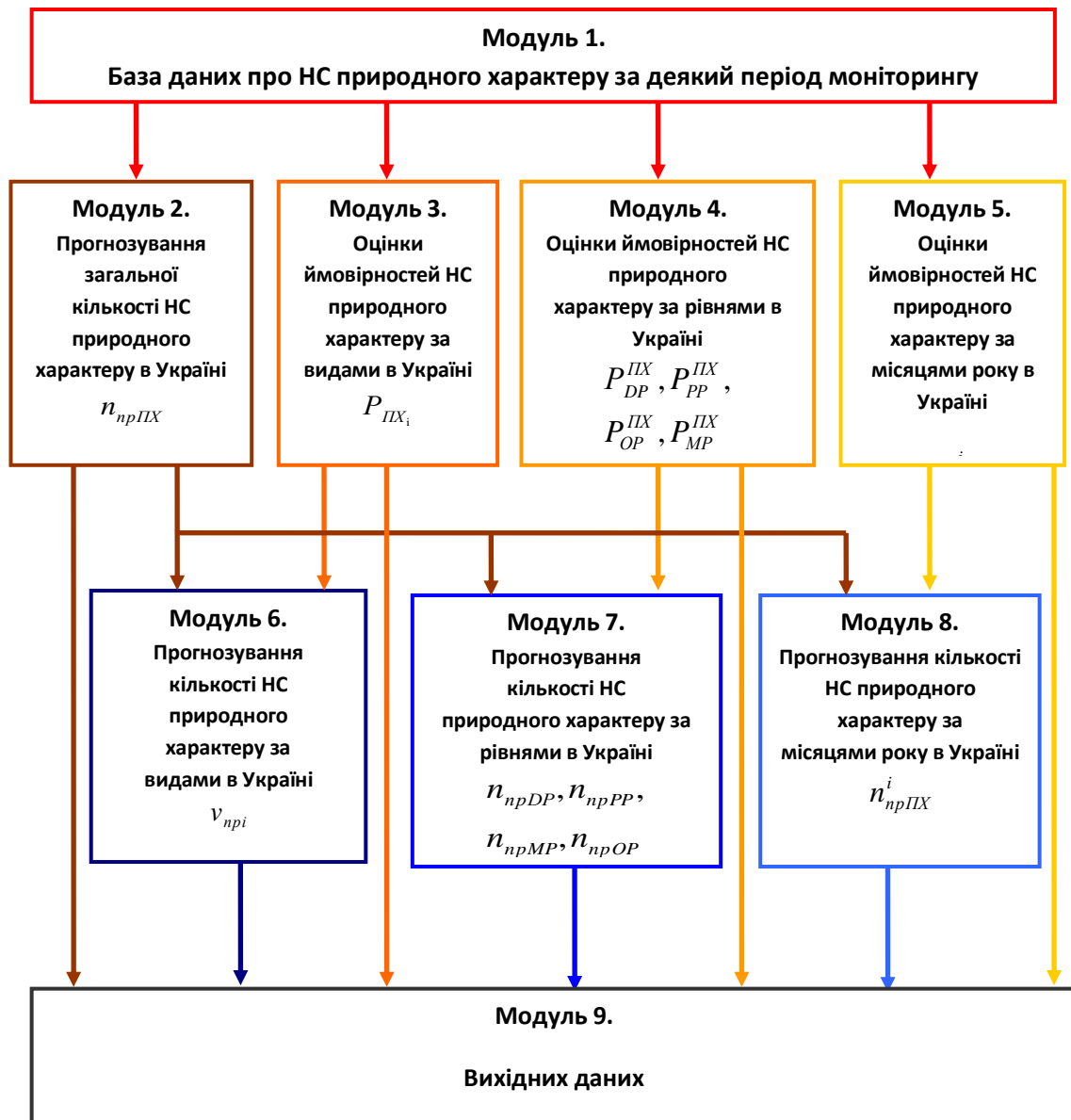


Рис. 1. Модель комплексного прогнозування НС природного характеру в цілому, за видами та рівнями на основі статистичних даних в Україні

Модель прогнозу загальної кількості НС природного характеру представлена на рис. 2.

$$Y(t) = C(t) + X(t) + \xi(t) \quad (1)$$

де $Y(t)$ – функція зміни кількості НС природного характеру; $C(t)$ – систематична складова процесу зміни НС природного характеру; $X(t)$ – періодична складова процесу зміни НС природного характеру; $\xi(t)$ – випадкова складова процесу зміни НС природного характеру.

Оцінка всіх складових процесу зміни НС природного характеру дозволить не тільки здійснити прогнозування по кожній із них, але й глибше проаналізувати причини виникнення НС.

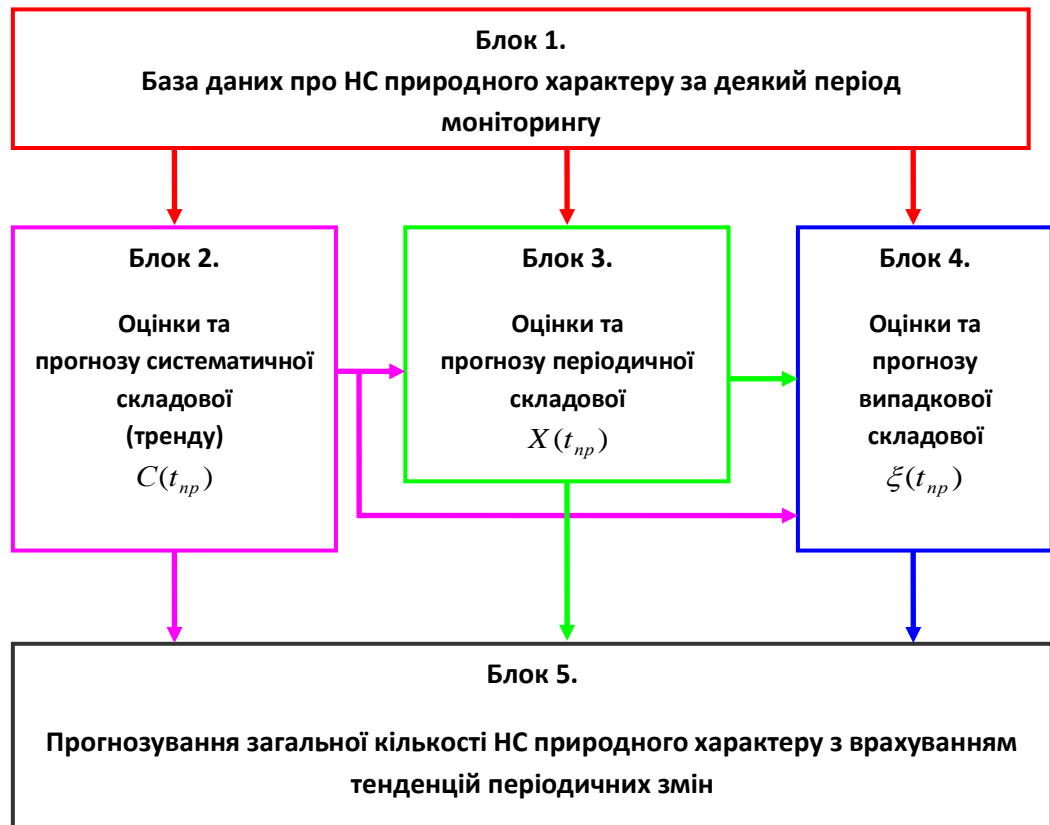


Рис. 2. Модель прогнозу загальної кількості НС природного характеру з врахуванням тенденцій періодичних змін

Блок 1 (база даних про НС природного характеру за деякий період моніторингу) містить статистичні дані про НС природного характеру в цілому, за видами, рівнями та їх розподіл за місяцями року на основі моніторингу за деякий період. Ці дані є основою для проведення відповідних оцінок та прогнозу систематичної, періодичної та випадкової складової відповідно в блоках 2, 3, 4.

В блоці 2 (оцінки та прогнозу систематичної складової (тренду)) здійснюється оцінка параметрів систематичної складової $C(t)$ та її прогноз $C(t_{np})$ на момент прогнозу t_{np} .

Систематичну складову $C(t)$ будемо шукати у вигляді поліному ступеню k [25]:

$$C(t) = r_0 + r_1t + r_2t^2 + \dots + r_k t^k. \quad (2)$$

Ступінь поліному вибирається таким чином, щоб кількість заданих точок була в п'ять разів вище ступеня полінома. Коефіцієнти полінома можна знайти методом найменших квадратів (МНК) [25].

Прогнозне значення систематичної складової можна записати у вигляді:

$$C(t_{np}) = r_0 + r_1 t_{np} + r_2 t_{np}^2 + \dots + r_k t_{np}^k, \quad (3)$$

де $r_0, r_1, r_2, \dots, r_k$ – оцінки коефіцієнтів поліному.

В блоці 3 (оцінки та прогнозу періодичної складової) на основі даних модулів 1, 2 здійснюється вилучення систематичної складової процесу зміни НС природного характеру, оцінка параметрів періодичної складової $X(t)$ та її прогноз $X(t_{np})$ на момент прогнозу t_{np} .

Після оцінки та вилучення систематичної складової $C(t)$ з процесу зміни НС природного характеру $Y(t)$ відповідно до моделі (рис. 2) виникає завдання виявлення та оцінки параметрів періодичної складової $X(t)$ цього процесу.

Для виявлення та оцінки періодичної складової $X(t)$ в якості статистичного критерію розглядається випадкова величина d , яка підпорядкована розподілу χ^2 [26]:

$$d = \sum_{i=0}^{p-1} \left(\sqrt{\frac{q}{\sigma^2}} \hat{x}_i \right)^2, \quad (4)$$

де \hat{x}_i – оцінки значень періодичної складової, σ^2 – оцінка дисперсії.

Якщо статистичне значення випадкової величини d перевищує поріг виявлення, тоді отримуємо оцінки прогнозних значень періодичної складової $X(t_{np})$.

Оцінки значень періодичної складової знаходяться наступним чином:

$$\hat{x}_i = \frac{1}{q} \sum_{s=0}^{q-1} y_{i+sp}, \quad (5)$$

де p – період періодичної складової; q – кількість періодів періодичної складової в реалізації, y_0, y_1, \dots, y_{n-1} – значення реалізації процесу зміни НС природного характеру; $n = q \cdot p$ – довжина реалізації процесу зміни НС природного характеру; $i = 0, 1, 2, \dots, (p-1)$.

В блоці 4 (оцінки та прогнозу випадкової складової) на основі даних модулів 1, 2, 3 здійснюється вилучення систематичної $C(t)$ та періодичної $X(t)$ складових процесу зміни НС природного характеру, оцінка параметрів випадкової складової $\xi(t)$ та її прогноз $\xi(t_{np})$ на момент t_{np} .

Відповідно до моделі прогнозу НС природного характеру з врахуванням тенденцій періодичних змін (рис. 2) після оцінки і вилучення з реалізації $Y(t)$ систематичної $C(t)$ та періодичної $X(t)$ складових виникає задача прогнозу випадкової складової $\xi(t)$.

Прогнозування випадкової складової $\xi(t_{np})$ здійснюється відповідно до методу МПВА [27].

В блоці 5 (прогнозування загальної кількості НС природного характеру з врахуванням тенденцій періодичних змін) обчислюється прогнозна кількість НС природного характеру $Y(t_{np})$ на момент прогнозу як сума прогнозних значень систематичної $C(t_{np})$, періодичної $X(t_{np})$ та випадкової $\xi(t_{np})$ складових:

$$n_{np\Pi X} = Y(t_{np}) = C(t_{np}) + X(t_{np}) + \xi(t_{np}), \quad (6)$$

де $n_{np\Pi X}$ – прогнозна кількість НС природного характеру.

Модуль 3 призначений для оцінки ймовірностей виникнення НС природного характеру за видами $P_{\Pi X_i}$ в Україні.

Ймовірність виникнення НС $P_{\Pi X_i}$ i -го виду при виникненні НС природного характеру дорівнює [25]:

$$P_{\Pi X_i} = \frac{v_i}{m_2}, \quad (7)$$

де $P_{\Pi X_i}$ – ймовірність природної НС i -го виду при виникненні НС природного характеру; m_2 – загальна кількість НС природного характеру в Україні за період моніторингу; v_i – кількість природних НС i -го виду за період моніторингу НС природного характеру.

Модуль 4 призначений для оцінки ймовірностей виникнення НС природного характеру за рівнями $P_{DP}^{\Pi X}$, $P_{PP}^{\Pi X}$, $P_{MP}^{\Pi X}$, $P_{OP}^{\Pi X}$ в Україні.

Ймовірності виникнення НС природного характеру за рівнями на основі статистичних даних обчислюється за формулами [25]:

$$P_{DP}^{\Pi X} = \frac{k_1}{m_2}; P_{PP}^{\Pi X} = \frac{k_2}{m_2}; P_{MP}^{\Pi X} = \frac{k_3}{m_2}; P_{OP}^{\Pi X} = \frac{k_4}{m_2}, \quad (8)$$

де m_2 – загальна кількість НС природного характеру в Україні за період моніторингу; k_1 – кількість НС природного характеру державного рівня за період моніторингу; k_2 – кількість НС природного характеру регіонального рівня за період моніторингу; k_3 – кількість НС природного характеру місцевого рівня за період моніторингу; k_4 – кількість НС природного характеру об'єктового за період моніторингу; $P_{DP}^{\Pi X}$ – ймовірність НС державного рівня при виникненні НС природного характеру; $P_{PP}^{\Pi X}$ – ймовірність НС регіонального рівня при виникненні НС природного характеру; $P_{MP}^{\Pi X}$ – ймовірність НС місцевого рівня при виникненні НС природного характеру; $P_{OP}^{\Pi X}$ – ймовірність НС об'єктового рівня при виникненні НС природного характеру.

Модуль 5 призначений для оцінки ймовірностей виникнення НС за місяцями року P_M^i в Україні.

Ймовірності виникнення НС природного характеру за місяцями року (P_M^i , $i = 1, 2, 3, \dots, 12$) на основі результатів моніторингу обчислюються наступним чином:

$$P_M^i = \frac{l_i}{m_2}, \quad (9)$$

де l_i – кількість НС природного характеру за місяцями року за період моніторингу.

Модуль 6 призначений для прогнозування кількості НС природного характеру за видами v_{npi} в Україні на основі даних, які поступають від модулів 2 та 3.

Якщо оцінена прогнозна кількість $n_{np\Pi X}$ НС природного характеру, тоді прогнозна кількість НС i -го v_{npi} виду обчислюється за формулою:

$$v_{npi} = n_{np\Pi X} \cdot P_{\Pi Xi} \quad (10)$$

Модуль 7 призначений для прогнозування кількості НС природного характеру за рівнями n_{npDP} , n_{npPP} , n_{npMP} , n_{npOP} в Україні на основі даних, які поступають від модулів 2 та 4.

Прогнозна кількість НС природного характеру за рівнями на основі статистичних даних обчислюється за формулами:

$$n_{npDP} = n_{np\Pi X} \cdot P_{DP}^{\Pi X}; n_{npPP} = n_{np\Pi X} \cdot P_{PP}^{\Pi X}; n_{npMP} = n_{np\Pi X} \cdot P_{MP}^{\Pi X}; n_{npOP} = n_{np\Pi X} \cdot P_{OP}^{\Pi X}, \quad (11)$$

де n_{npDP} – прогнозна кількість НС природного характеру державного рівня; n_{npPP} – прогнозна кількість НС природного характеру регіонального рівня; n_{npMP} – прогнозна кількість НС природного характеру місцевого рівня; n_{npOP} – прогнозна кількість НС природного характеру об'єктового рівня.

Модуль 8 призначений для прогнозування кількості НС природного характеру за місяцями року $n_{np\Pi X}^i$ в Україні на основі даних, які надходять від модулів 2 та 5.

З урахуванням ймовірностей P_m^i кількість НС природного характеру за місяцями на період року прогнозу $n_{np\Pi X}^i$ обчислюється за формулою:

$$n_{np\Pi X}^i = n_{np\Pi X} \cdot P_m^i.$$

де $n_{np\Pi X}^i$ – прогнозна кількість НС природного характеру за місяцями року.

Вихідними даними (модуль 9) є прогноз загальної кількості НС природного характеру в Україні $n_{np\Pi X}$, оцінки ймовірностей НС природного характеру за видами $P_{\Pi Xi}$ в Україні, оцінки ймовірностей НС природного характеру за рівнями $P_{DP}^{\Pi X}$, $P_{PP}^{\Pi X}$, $P_{MP}^{\Pi X}$, $P_{OP}^{\Pi X}$ в Україні, оцінки ймовірностей НС природного характеру за місяцями року P_m^i в Україні, прогнозна кількість НС природного характеру за видами v_{npi} в Україні, прогнозна кількість НС природного характеру за рівнями n_{npDP} , n_{npPP} , n_{npMP} , n_{npOP} в Україні, прогнозна кількість НС природного характеру за місяцями року $n_{np\Pi X}^i$ в Україні.

Таким чином, застосування даної моделі дозволить здійснювати прогноз загальної кількості НС природного характеру, кількості НС за видами, рівнями та місяцями року в Україні.

Висновки

1. Розроблено модель та метод комплексного прогнозування НС природного характеру в цілому, за видами, рівнями та місяцями року на основі статистичних даних моніторингу. Модель носить комплексний характер, об'єднує в єдине ціле логічно і інформаційно зв'язані між собою за призначенням, поставленим задачам, вхідними і

вихідними даними та іншими параметрами моделі, кожна з яких призначена для вирішення конкретних завдань.

2. При розробці моделі використано модульний підхід: модель створена як сукупність окремих модулів, об'єднаних між собою в єдиний комплекс інформаційними зв'язками.

3. Прогнозування загальної кількості НС природного характеру з врахуванням дії всіх дестабілізуючих факторів здійснюється у відповідності з моделлю процесу зміни НС природного характеру, яка представляє собою адитивну суміш систематичної складової, яка характеризує незворотні процеси дрейфу параметрів, періодичної і випадкової складових.

Оцінка всіх трьох складових процесу зміни НС природного характеру дозволить не тільки здійснити прогнозування по кожній із них, але й глибше проаналізувати причини виникнення НС.

1. Андронов В.А. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні / В.А. Андронов, М.М. Дівізінюк, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 319 с.

2. Андронов В.А. Природні та техногенні загрози, оцінювання небезпек / В.А. Андронов, А.С. Рогозін, О.М. Соболев, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2011. – 264 с.

3. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга / А.И. Бакланов. – М: Бином, 2009. – 240 с.

4. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2012 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. Київ, 2013. – 384с.

5. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2011 році. УНДІ ЦЗ ДСНС України. Київ, 2012. – 359 с.

6. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році. МНС України. Київ, 2011. – 214с.

7. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2009 році. МНС України. Київ, 2010. – 252с.

8. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році. МНС України. Київ, 2009. – 244с.

9. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2007 році. МНС України. Київ, 2008. – 226с.

10. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2006 році. МНС України. Київ, 2007. – 236с.

11. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2004 році. МНС України. Київ, 2005. – 322с.

12. Іванець Г.В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі даних моніторингу. / Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. –Х. Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 3 (48). С.142-145.

13. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI // Голос України. – 2012.– листопад (№ 220 (5470)). – С. 4 – 20.

14. Тютюник В.В., Іванець Г.В., Горелишев С.А. Методика оцінювання рівня техногенно-природно-соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України. / Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України. – Харків 2016. Випуск 1 (27). С.30-37.

15. Емельянов В.М. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. – М., 2002. – 389с.

16. Михайлов Л.А. Чрезвычайные ситуации природного, техногенного и социального характера и защита от них / Л.А. Михайлов, В.П. Соломин. – СПб.: Питер, 2008. – 235с.
17. Шаптала В.Г., Радоуцкий В.Ю., Шаптала В.В. Основы моделирования чрезвычайных ситуаций. Учебное пособие. /В.Г. Шаптала, В.Ю. Радоуцкий, В.В. Шаптала. – Белгород, 2010. – 166с.
18. Луценко М.М. Оцінка обстановки у надзвичайних ситуаціях /М.М. Луценко – Х.: ХНАДУ, 2009. – 181с.
19. Кизим Н.А. Моделирование устойчивого развития региона / Н.А. Кизим, О.Ю. Полякова, В.Е. Хаустова, Ш.А. Омарова – Х.: ИНЖЕК, 2010. – 2010с.
20. Євдікін О.М. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій: в 2 т./Євдікін О.М., Могильниченко В.В., Скидан М.А., Рibaкова Е.О. – КІМ, 2007. Т.1: Техногенна та природна небезпека. – 2007. – 636с.
21. Родин М.В. Фундаментальные проблемы мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф / М.В. Родкин, В.И. Мухин // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – Химки: ФГБОУ ВПО «АГЗ МЧС России», 2010. – № 1. – С. 9 – 14.
22. Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій: Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 1998р №1099.
23. К. Блажчук. Удосконалюємо Класифікатор надзвичайних подій. /Надзвичайна ситуація №1/2010. – Київ «Чорнобильінтерінформ», 65с, С. 22-23.
24. Іванець Г.В., Толкунов І.О., Стецюк Є.І. Модель процесу зміни узагальнених параметрів надзвичайних ситуацій природного характеру. /Проблеми надзвичайних ситуацій. . – Харків: НУЦЗУ, 2016. Вип. 23. С. 46-52.
25. Іванець Г.В. Алгоритм прогнозування надзвичайних ситуацій природного характеру в цілому, за видами та рівнями, можливих завданих збитків внаслідок них. / Системи обробки інформації: збірник наукових праць. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. Вип. 8(145). С. 175-179.
26. Іванець Г.В., Стецюк Є.І., І.О. Толкунов І.О. Методика оцінки періоду періодичної складової випадкового процесу зміни узагальненого параметру надзвичайних ситуацій природного характеру./ Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. пр. – Харків: НУЦЗУ, 2015. – Вип. 22. С.46-53.
27. Ивахненко А.Г., Лапа В.Г. Предсказание случайных процессов. – Киев: Наукова думка, 1971. – 404с.

Г.В. Иванец, Б.Б. Поспелов, В.В. Тютюник, М.Г. Иванец
МОДЕЛЬ И МЕТОД КОМПЛЕКСНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРА

Представлены модель и метод комплексного прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного характера в целом, по видам, уровням и месяцам года на основе статистических данных мониторинга.

G.V. Ivanets, B.B. Pospelov, V.V. Tiutiunyk, M. G. Ivanets
MODEL AND METHOD OF COMPLEX FORECASTING OF NATURAL
EMERGENCY SITUATIONS

The model and method of complex forecasting of natural emergency situations in general, by types, levels and months of the year based on statistical monitoring data is presented.

УДК: 665.71

КИСЕЛЁВ Ю.В.¹, ЖЕБРОВСКАЯ Е.И.¹, МЕЛЬНИКОВА С.Л.²,
ВЫХРЕСТЮК Н.И.³

¹ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины».

²Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины.

³Украинский НИИ НПП МАСМА, Киев.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОТЕКАНИЯ РЕАКЦИИ ХОЛОДНОПЛАМЕННОГО ОКИСЛЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДОВ В РЕАКТОРЕ ОКТАНОМЕТРА ОК-2М.

Работа экспресс анализатора детонационной стойкости бензинов ОК-2М базируется на регистрации теплового эффекта процесса предпламенного превращения топлив, предшествующего полному сгоранию топливо-воздушной смеси.

Однако, простая регистрация теплового эффекта, не даёт представления о химических превращениях топлива, предшествующих сгоранию топливо-воздушной смеси.

Выяснялся состав продуктов, образующихся в реакторе прибора ОК-2М в режиме определения детонационных характеристик топлив, и механизм протекающих при этом процессов.

Сопоставление наблюдаемых результатов определения октанового числа смесей индивидуальных углеводородов с результатами исследования механизма химических процессов в реакторе позволяет сделать заключение о том, что время и температура реакции холодного пламенного окисления топлив могут использоваться в качестве параметров, эквивалентных октановому числу бензинов, определённого по исследовательскому и моторному методам.

Ключевые слова: топливо-воздушная смесь, предпламенное превращение.

Стандартный метод определения октанового числа (ОЧ) бензинов, характеризующего их качество как моторных топлив, является весьма трудоемким и дорогостоящим. Альтернативные способы оценки ОЧ, основанные на корреляции антидетонационных характеристик бензинов с физико-химическими свойствами содержащихся в них углеводородов (температурами кипения, плотностью, диэлектрической проницаемостью). Практически все альтернативные методы определения ОЧ предполагают относительно постоянный состав углеводородного сырья и отсутствие в бензине различных по химической природе добавок и присадок. Предложенный авторами экспресс-метод определения детонационной стойкости бензинов, базирующийся на регистрации реакционной способности топлива и теплового эффекта процесса его предпламенного превращения, предшествующего полному сгоранию топливо-воздушной смеси, лишен этих недостатков. Этот метод положен в основу работы прибора ОК-2М представленного на рисунке 1.



Рисунок 1. – Общий вид прибора ОК-2М.

Высокая воспроизводимость корреляций, установленных между протяженностью индукционного периода, предшествующего началу превращения топлива в реакторе прибора ОК-2М (температура реактора 380-400 °С), тепловым эффектом (температурой) процесса превращения и значением ОЧ того же топлива, определенным стандартным методом, свидетельствуют о надежности результатов определения величин, эквивалентных ОЧ бензинов на приборе ОК-2М. Вместе с тем, найденные зависимости не дают представления о механизме процессов, происходящих в условиях предпламенного превращения топлива, предшествующего сгоранию топливо-воздушной смеси. Выяснению состава продуктов, образующихся в реакторе прибора ОК-2М в режиме определения детонационной стойкости топлив, и механизму протекающих при этом процессов посвящен настоящий материал.

Эксперимент проводился в реакторе, предварительно нагретом до температуры холодного пламенного окисления (380-400 °С). При этом в реакторе создавался поток газа, нагретого до температуры реактора и движущийся с высокостабильной скоростью 60 см³/мин. при нормальном атмосферном давлении. В качестве газа носителя использовались водород, аргон, гелий и воздух.

Исследуемое топливо в реактор подавалось через инжектор и испаритель. В качестве объектов исследования выбраны модельные эталонные соединения: n-гептан (ОЧ = 0) и изооктан (ОЧ = 100) и их смеси в соотношении 1/2 и 1/3. Проба углеводорода либо смеси углеводородов объемом 5 мкл с помощью микрошприца впрыскивалась в поток выбранного газа носителя.

На выходе из реактора парогазовая смесь (продукты превращения углеводородов в смеси с вводимыми в реактор модельными эталонными соединениями и газом) отбирались медицинским шприцом и подвергались масс-спектральному и газохроматографическому анализу.

Ход реакции отслеживался по показаниям термопары введённой в реактор.

Таким образом, в модельном эксперименте создавался такой же режим, какой создавался в экспериментальной установке в режиме определения детонационной стойкости бензинов с использованием разных газов носителей.

Масс-спектральный анализ осуществлялся на масс-спектрометре LKB-091 (Швеция) с использованием системы введения проб через баллон напуска, нагретый до 250 °С. Масс-спектры регистрировались на бумаге, чувствительной к ультрафиолетовому облучению, с использованием быстродействующего светочувствительного осциллографа.

Газохроматографический анализ продуктов превращения углеводородов выполняли на хроматографе «Хром-5» как с пламенно-ионизационным детектором, так и с

катарометром. Для идентификации компонентов превращения углеводородов использовались нанесенные на инертный твердый носитель хроматон N-AW-HMDS неподвижные фазы различной природы – неполярная (метилсиликоновый эластомер SE-30), полярная (полиэтиленгликоль с молекулярной массой 1500 – ПЭГ-1500), а также сорбенты: селективный к легким алканам и алкенам оксид алюминия, пропитанный 17% сквалана, цеолит СаА, полисорб-1, пропитанный 25% полиэтиленгликольадипината (ПЭГА).

1. Исследование реакционной способности изооктана масс-спектральным и газохроматографическим методами анализа.

Результаты масс-спектрального анализа паровоздушных проб исходного изооктана и аналогичных проб, отобранных из потока воздуха на выходе из реактора в режиме определения детонационной стойкости изооктана, представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1. Масс-спектры изооктана.

Отношение массы к заряду	Типы ионов	Интенсивность пиков, мм		
		Изооктан исходный	Изооктан из его смеси с воздухом на выходе из реактора	
			проба 1	проба 2
26		6	2	2
27		170	27	31
28		230	3800 (N2)	3400 (N2)
29		31	68	71
30	1	1	2	2
31			2	
39		105	25	28
40		32	50	48
41		600	88,	120
42		40	6	8
43	Я - C ₃ H ₇	560 (20%)	85(21%)	100(21%)
44	1	20	12	И
45	1	1		
50		80	15	15
56		840 (30%)	120 (30%)	150(31%)
57	М-С ₄ H ₉	2800 (100%)	400(100%)	480(100%)
58	І	120	18	21
59	1	3		
69		10	3	3
70		6	2	2
71		23	5	5
72	1	1		
83		15	3	4
84		2	1	1
85		1	1	1
97		2		
98		4	1	
99	М-СН ₃	110(4%)	18(4,5%)	21 (4,3%)
100	1	11	2	2
101				
114	М	-	-	-

М – пики молекулярных ионов; і – пики изотопных ионов.

Исследование состояло из двух частей. Вначале проводился масс-спектральный или хроматографический анализ испытуемых модельных углеводородов или их смеси в инертном газе, затем проводился анализ проб тех же углеводородов, прошедших через реактор и отобранных на его выходе, при использовании в качестве газа носителя водорода, аргона, гелия и воздуха.

Идентичность масс-спектров исходного изооктана и того же изооктана, отобранного на выходе из реактора, свидетельствует об отсутствии протекания химических реакций в реакторе – в обоих спектрах отсутствуют молекулярные и осколочные пики легких углеводородов и кислородсодержащих соединений; практически полностью совпадает соотношение основных пиков осколочных ионов и максимального пика масс-спектра.

Пики молекулярных ионов изооктана, вследствие высокой разветвленности его молекул, на масс-спектрах также отсутствуют.

Хроматографический анализ изооктана на выходе из реактора также не показал наличия каких-либо превращений его в реакторе, находящемся в режиме определения детонационной стойкости. Об этом свидетельствует сопоставление хроматограммы изооктана, отобранного из потока воздуха на выходе из реактора, с хроматограммой паровоздушной смеси исходного изооктана, представленное на рисунке 1.1.

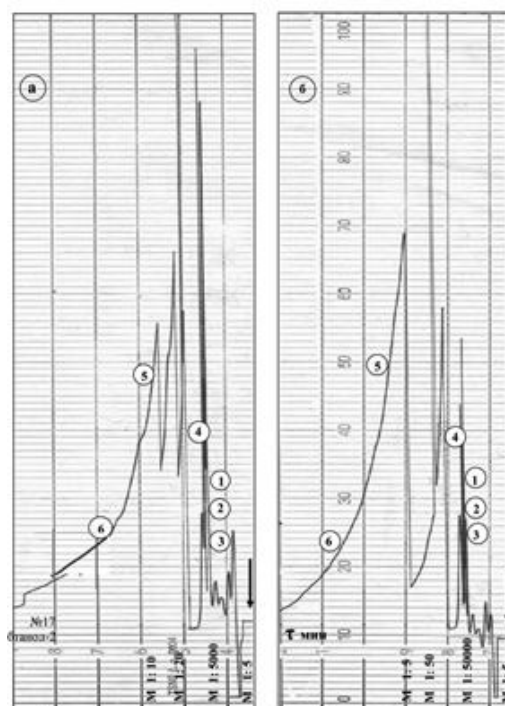


Рис. 1.1. а. хроматограмма паровоздушной смеси исходного изооктана; б. хроматограмма смеси воздуха-изооктан, отобранной из потока газов с выхода реактора.
Условия анализа: неподвижная фаза - SE-30; колонка из нержавеющей стали длиной 1,2 м, внутренним диаметром 3 мм, температура анализа - 100 °С, температура испарителя - 180 °С; детектор - пламенно-ионизационный. Обозначены компоненты: 1, 2, 3, 5, 6 - примеси в исходном изооктане, 4 - изооктан.

Отсутствие превращений изооктана в реакторе проявляется также в отсутствии отклонения от нулевой линии сигнала термомпары, которая регистрирует ход реакции окисления углеводородного сырья.

2. Исследование реакционной способности *n*-гептана масс-спектральным и газохроматографическим методами.

2.1. Определение состава продуктов превращения *n*-гептана в отсутствие кислорода.

С целью выяснения природы процессов, происходящих в реакторе, изучался состав парогазовой смеси на выходе из реактора при пропускании через реактор различных носителей пробы – инертных (гелий, аргон), водорода и воздуха. Результаты газохроматографического анализа проб, отобранных на выходе из реактора, свидетельствовали об отсутствии изменения состава исходного *n*-гептана в случае если в

качестве несущих газов использовались такие газы, как аргон, гелий и водород (рис. 2.1).

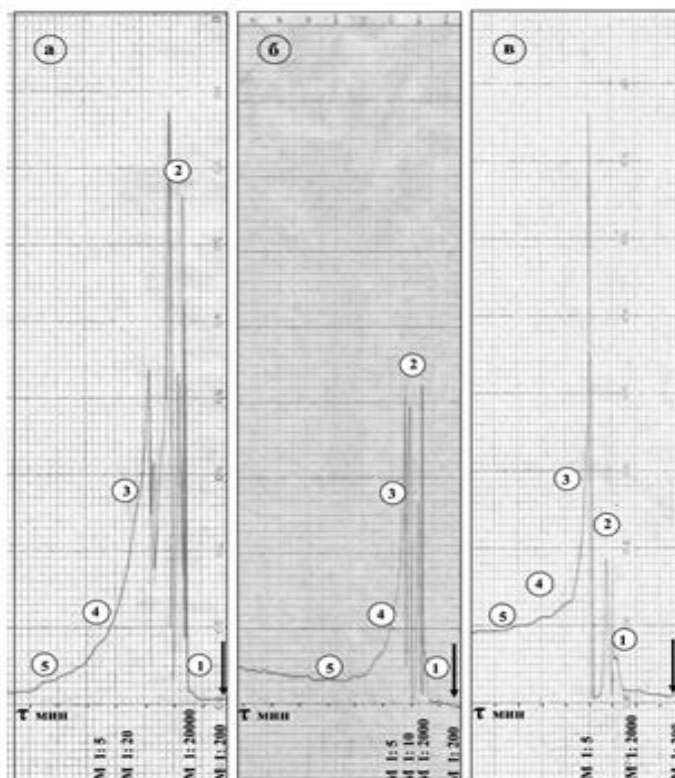


Рис. 2.1. Хроматограммы *n*-гептана, отобранного на выходе из реактора в потоке: а - гелия, б - аргона и в - водорода.
Условия анализа: неподвижная фаза - SE-30; колонка из нержавеющей стали длиной 1,2 м, внутренним диаметром 3 мм; температура анализа - 80 °С; температура испарителя - 180 °С; детектор пламенно-ионизационный. Обозначения компонентов: 1- 2,3 - диметилгептан (примесь в исходном *n*-гептане); 2 - *n*-гептан; 3, 4, 5 - идентифицированные примеси в исходном *n*-гептане.

Сигнал на выходе термопары, помещённой в реактор, также оставался равным нулю, что подтверждало отсутствие преобразований испытуемого вещества.

Полученные результаты свидетельствуют об отсутствии протекания каких-либо химических процессов в реакторе нагретом до температуры холоднопламенного окисления углеводородов (380-400 °С) в потоках газов, не содержащих кислород.

2.2. Определение состава продуктов превращения *n*-гептана в присутствии кислорода воздуха.

Масс-спектральный и газохроматографический анализы состояния смеси *n*-гептана с воздухом, отобранного из потока газов на выходе реактора показали наличие целой гаммы продуктов превращения.

Масс-спектральный анализ.

В таблице 2.1. представлены результаты масс-спектрального анализа продуктов превращения *n*-гептана в потоке воздуха в сравнении с исходным *n*-гептаном. Интенсивность линий масс-спектра дана как в абсолютных единицах (мм), так и в нормализованном виде - как отношение интенсивности каждого сигнала к принятой за 100 % интенсивности максимального сигнала, соответствующего частице массой 43 а.е.м.

Сравнение распределения молекулярных и осколочных ионов в масс-спектрах *n*-гептана с соответствующими спектрами продуктов его превращения показывает их существенное различие.

Прежде всего, полученные результаты свидетельствуют о появлении в продуктах реакции значительного количества низкомолекулярных углеводородов - метана ($M = 16$), этана ($M = 30$), пропана ($M = 44$), *n*-бутана ($M = 58$) и, в меньшем количестве, - *n*-пентана ($M = 72$) и *n*-гексана ($M = 86$).

Таблица 2.1. Масс-спектры *n*-гептана и продуктов его превращения, отобранных на выходе из реактора.

Отношение массы к заряду	Типы ионов	Интенсивность пиков, % от максимального		Интенсивность пиков, мм
		<i>n</i> -гептан	Продукт превращения <i>n</i> -гептан	Продукт превращения <i>n</i> -гептан
1	2	3	4	5
15		4,88	24,5	71
16	i	0,13	27,6	80
17			H-O-	320
18			H ₂ O	1600
26		3,22	15,9	46
27		39,3	41,3	120
28		7,8	N ₂	9300
29	-C ₂ H ₅	46,0	99	360
30	i	0,9	37,9	110
31	д	0,03	37,9	110
32			O ₂	1200
39		18,8	20,7	60
40		3,2	48,3	140
41		51,9	51,7	150
42		24,1	30,3	88
43	-C ₃ H ₇	100,0	100,0	290
44	i	3,2	CO ₂ 58,6	170
45	i	0,04	10,0	29
46			1,4	4
55		10,5	23,1	67
56		26,3	25,5	74
57	M – C ₃ H ₇	47,8	27,9	110
58	i	2,0	9,7	28
59	i	0,3	3,4	10
60			3,1	9
70		17,2	13,8	40
71	M – C ₂ H ₅	44,0	28,3	82
72	i	2,3	2,5	15
1	2	3	4	5
73	i	0,04	2,1	6
74			0,7	2
85	M – CH ₃	1,9	13,8	40
86	i	0,3	2,4	7
87	i	0,01	0,7	2
88			0,3	1
85		1,9	13,8	40
86	i	0,3	2,4	7
87	i	0,01	0,7	2
88			0,3	1
97			1,0	3
98		0,02	1,7	5
99		0,01	7,2	21
100	M	13,1	7,6	22
101		0,9	1,0	3
110			0,3	1
111			0,3	1
112			0,7	2
113			0,7	2
114			1,0	3
115	i		0,3	1

M – пик молекулярных ионов; i – пики изотопных ионов; д – пики двузарядных ионов

Следует отметить, что на масс-спектре на пик *n*-бутана может наложиться сигнал, соответствующий ацетону ($M = 58$), а на пик пентана – метилэтилкетона ($M = 72$).

Об окислении *n*-гептана в реакторе ОК-2М в присутствии кислорода воздуха свидетельствует появление в масс-спектре продуктов реакции молекулярных и осколочных ионов, имеющих массы 31, 45, 46, 59, 60, 73, 74, 87, 88, 97, 98, 110-115 и относящихся к кислородсодержащим соединениям. По аналогии с результатами анализа продуктов окисления индивидуальных углеводородов при 220 °С можно предположить, что продуктами окисления являются кетоны либо спирты, содержащие функциональную группу преимущественно в положении 2.

Не исключается присутствие в смеси бутанола-2, имеющего молекулярную массу 74 и массу осколочных ионов 45, а также низкомолекулярных спиртов. Пик с $M = 114$ можно рассматривать как соответствующий гептанону-2, пик с $M = 58$ – ацетону, пик с $M = 72$ – метилэтилкетону. Последние два пика, как упоминалось выше, на масс-спектре могут перекрываться углеводородами, имеющими равную молекулярную массу.

Хотя в таблице 2.1 и не приведены относительные значения интенсивностей пиков молекулярных ($M = 18$) и осколочных ($M = 17$) ионов воды и углекислого газа ($M = 44$), однако, наличие соответствующих им сигналов свидетельствует, что в продуктах реакции вода и углекислый газ присутствуют как продукты полного окисления части *n*-гептана. Высокая интенсивность сигнала с $M = 44$ объясняется тем, что пик CO_2 в спектре совпадает с пиком пропана. Таким образом, масс-спектральный анализ показал, что в процессе холодного пламенного окисления *n*-гептана имеет место, как крекинг, так и окисление исходного *n*-парафина.

Газохроматографический анализ

Анализ продуктов превращения *n*-гептана в потоке воздуха осуществлялся с использованием разных сорбентов (рис. 2.2-2.5). Для выяснения присутствия в анализируемых пробах низкомолекулярных углеводородов использован сорбент, селективный к легким углеводородам – оксид алюминия, пропитанный 17% сквалана (гексаметилтетракозана). Соответствующая хроматограмма представлена на рисунке 2.2.

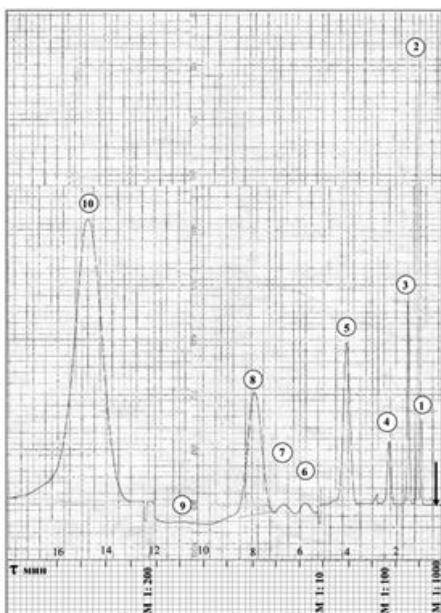


Рис. 2.2. Хроматограмма *n*-гептана, отобранного на выходе из реактора из потока воздуха, полученная на сорбенте: оксид алюминия, пропитанный 17% сквалана. Условия анализа: колонка – из нержавеющей стали длиной 3,5 м, внутренним диаметром 3 мм; температура анализа – 180 °С; температура испарителя – 180 °С; детектор – пламенно-ионизационный. Обозначения компонентов те же, что и в табл.3.

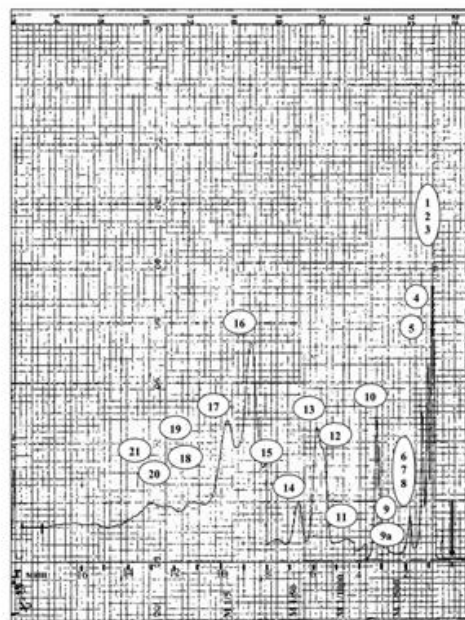


Рис.2.3. Хроматограмма *n*-гептана, отобранного из потока воздуха на выходе из реактора, полученная на сорбенте: 10% SE-30 на хроматоле N-AW-HMDS. Условия анализа: колонка – из нержавеющей стали длиной 3,5 м, внутренним диаметром 3 мм; температура анализа – 80 °С; температура испарителя – 180 °С; детектор – пламенно-ионизационный. Обозначения компонентов те же, что и в табл.2.3

Таблица 2.2. Времена удерживания компонентов из продуктов превращения *n*-гептана в потоке воздуха в сравнении с соответствующими данными для индивидуальных предполагаемых веществ на сорбенте: 17% сквалана на γ -окиси алюминия (температура анализа: 80 °С, детектор: пламенно-ионизационный).

№№ пика на хроматограмме	Время удерживания, сек		Наименование предполагаемого компонента
	Компонента смеси	Предполагаемого компонента	
1	42,2	42,6 – метан	Метан
2	50,9	52,9 – этан	Этен (этан)
3	75,0	74,6 – пропен 73,2 – <i>n</i> -пропан	Пропен (пропан)
4	123,3	124,0 – <i>n</i> -бутен 119,0 – <i>n</i> -бутан	Бутен-1 (<i>n</i> -бутан)
5	227,1	217,5 – <i>n</i> -пентан	Пентен-1 (<i>n</i> -пентан)
6	330,0		Неидентифицирован
7	385,0		Неидентифицирован
8	455,5	Гексен-1 426,0 – <i>n</i> -гексан	Гексен-1
9	711,0		2,3-диметилпентан (из исходного <i>n</i> -гептана)
10	867,0	868,0 – <i>n</i> -гептан	<i>n</i> -гептан

Сопоставление параметров удерживания компонентов смеси и предполагаемых веществ позволило сделать предположение о составе углеводородной части идентифицируемой смеси (табл. 2.2).

Наличие легких углеводородов в анализируемой смеси подтверждается также результатами анализа ее на неполярной неподвижной фазе SE-30 (рис. 2.3-2.5).

На рисунке 2.3 представлены корреляционные зависимости логарифмов относительных объемов удерживания ($\lg r$) предполагаемых веществ на SE-30 от их температур кипения ($T_{кип.}$). Такие корреляции наиболее строго соблюдаются для представителей гомологического ряда одного класса соединений. На корреляционную зависимость $\lg r - T_{кип.}$ для индивидуальных *n*-парафинов C_5-C_9 нанесены значения относительных объемов удерживания компонентов, соответствующих пикам №№ 1 – 21 на хроматограмме продуктов превращения *n*-гептана на SE-30.

Из предполагаемых кислородсодержащих соединений значение $\lg r > \lg r_{n-гептана}$ на SE-30 может иметь только гептанон-2 (предположительно, это пик №16), остальные компоненты, регистрируемые на хроматограмме после *n*-гептана, по-видимому, относятся к углеводородам. В этом случае можно оценить температуры кипения компонентов, соответствующих этим пикам на хроматограмме, и сделать отнесение этих пиков (табл. 2.3).

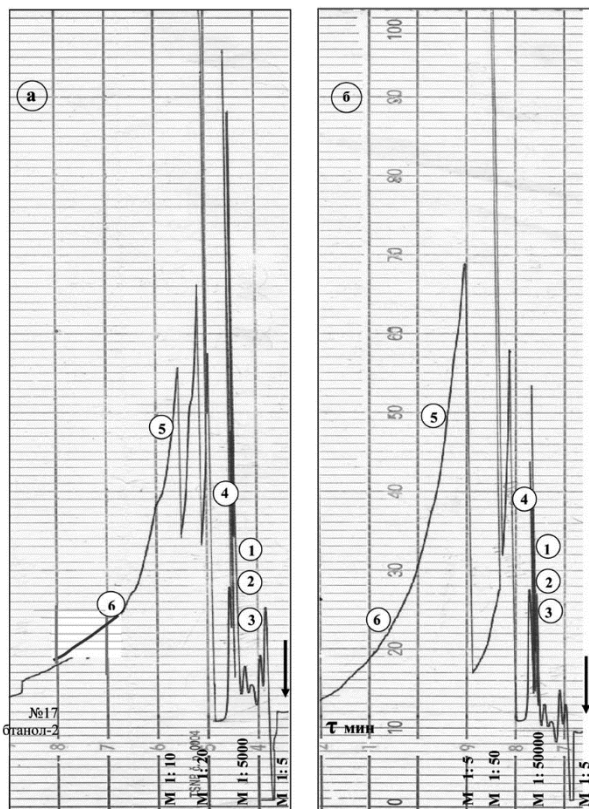


Рис. 1.1. а. хроматограмма паровоздушной смеси исходного изооктана; б. хроматограмма смеси воздуха-изооктан, отобранной из потока газов с выхода реактора. Условия анализа: неподвижная фаза - SE-30; колонка из нержавеющей стали длиной 1,2 м, внутренним диаметром 3 мм; температура анализа - 100 °С; температура испарителя - 180 °С; детектор - пламенно-ионизационный. Обозначения компонентов: 1, 2, 3, 5, 6 - примеси в исходном изооктане, 4 - изооктан.

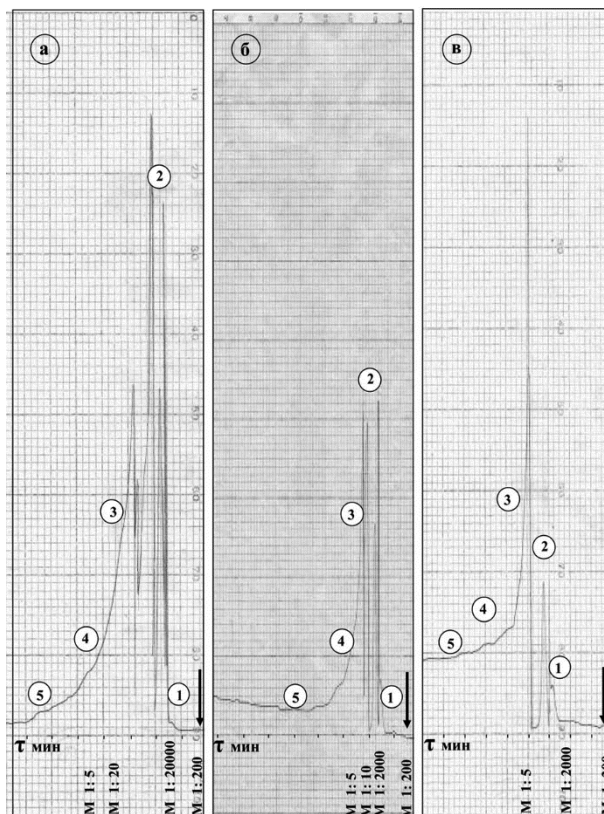


Рис. 2.1. Хроматограммы n-гептана, отобранного на выходе из реактора в потоке:

а - гелия, б - аргона и в - водорода.

Условия анализа: неподвижная фаза - SE-30; колонка из нержавеющей стали длиной 1,2 м, внутренним диаметром 3 мм; температура анализа - 80 °С; температура испарителя - 180 °С; детектор - пламенно-ионизационный. Обозначения компонентов: 1-2,3 - диметилгептан (примесь в исходном n-гептане); 2 - n-гептан; 3, 4, 5 - неидентифицированные примеси в исходном n-гептане.

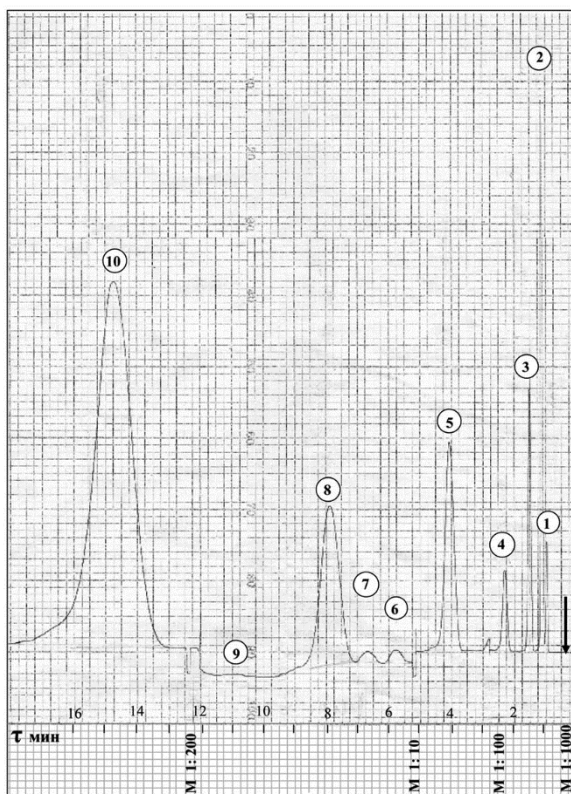


Рис. 2.2. Хроматограмма n-гептана, отобранного на выходе из реактора из потока воздуха, полученная на сорбенте: оксид алюминия, пропитанный 17% сквалана. Условия анализа: колонка - из нержавеющей стали длиной 3,5 м, внутренним диаметром 3 мм; температура анализа - 100 °С; температура испарителя - 180 °С; детектор - пламенно-ионизационный. Обозначения компонентов те же, что и в табл.3.

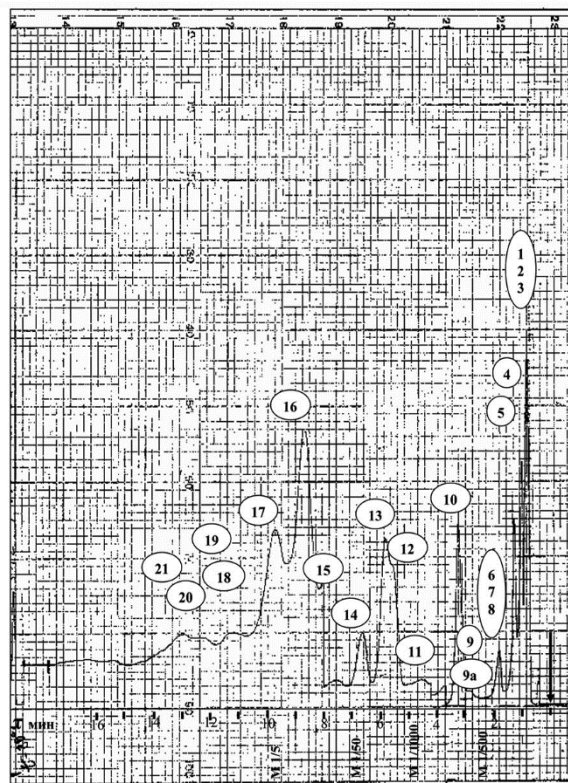


Рис. 2.3. Хроматограмма n-гептана, отобранного из потока воздуха на выходе из реактора, полученная на сорбенте: 10% SE-30 на хроматоне N-AW-HMDS. Условия анализа: колонка - из нержавеющей стали длиной 3,5 м, внутренним диаметром 3 мм; температура анализа - 80 °С; температура испарителя - 180 °С; детектор - пламенно-ионизационный. Обозначения компонентов те же, что и в табл.2.3

Таблица 2.3. Параметры удерживания компонентов смеси и предполагаемых веществ на колонке: 10 % SE-30 на хроматоне N-AW-HMDS зернением 0,16-0,20 мм (температура колонки: 80 °С, стандарт: n-гептан, детектор: пламенно-ионизационный).

№ пика на хроматограмме (неподвижная фаза: SE-30)	Параметры компонентов смеси		Параметры предполагаемого соединения		Предполагаемое соединение
	lg r	Т.кип., °С	lg r	Т.кип., °С, табл.[4]	
1 - 3	-1,70	- 51,5		-161,58; -103,7 -88,63; -47,75 -42,06	Метан Этен Этан Пропен Пропан
4	-1,05	0,5	-1,03	-6,25 -0,5	Бутен-1 n-бутан
5	-0,71	32,0 48,5	-0,74 -0,77	29,97 36,10 56,24	Пентен-1 n-пентан Ацетон
1 - 3	-1,70	- 51,5		-161,58; -103,7 -88,63; -47,75 -42,06	Метан Этен Этан Пропен Пропан
4	-1,05	0,5	-1,03	-6,25 -0,5	Бутен-1 n-бутан
5	-0,71	32,0 48,5	-0,74 -0,77	29,97 36,10 56,24	Пентен-1 n-пентан Ацетон
8	-0,38	63,0 80,0 103,0	-0,35 -0,40 -0,377	63,50 68,7 79,6 99,5 - 100	Гексен-1 n-гексан Бутанон-2 Бутанол-2
9 a 9	-0,160 -0,07	120 91,5	-0,155	117,5 89,78	Бутанол-1 2,3-диметилпентан (из исходного n-гептана)
10	0,00	98,43	0,00	98,43	N-гептан
11	0,21	117,5	0,235	117,72 125,7	3,4- диметилгексан Гексанон-2
12	0,28	124,0		121,28	Октен-1
13	0,31	126,5	0,32	124,67	n-октан
14	0,38	133,5		135,1 132,7 133,0	2,6-диметилгептан 2,2-диметилгептан 2,2,3,4-тетрамтилпентан
15	0,44	139,0		139,0 140,4 140,6	2,3,4-триметилпентан 3-метил-4-этилгексан 3,4-диметилгептан
16	0,49	151,5		150,0	Гептанон-2
17	0,56	150,0	0,60	150,8	n-нонан
18	0,62	156,0		153,0	2,4-диметилгектан
19	0,63	157,0		159,7	2-метил-5-этилгептан
20	0,665	160,0		160,0	4-изопропилгептан
21	0,69	163,0		163,0 162,0	2,3,4-триметилгептан 4-пропилгептан

Представленные на рисунках 2.2-2.5 и в табл. 2.2-2.5 результаты убедительно свидетельствуют, что основными органическими продуктами превращения n-гептана, при его холоднопламенном окислении в потоке газа содержащего кислород, являются углеводороды C₁-C₆. Более того, в некоторых случаях пики углеводородов на неполярной неподвижной фазе могут перекрывать пики содержащихся в смеси продуктов окисления n-гептана, например, кетонов либо спиртов.

Для выяснения этого обстоятельства результаты, полученные для неполярной неподвижной фазы SE-30 (рис. 2.3, табл. 2.3), были сопоставлены с параметрами удерживания компонентов идентифицируемой смеси на полярной неподвижной фазе ПЭГ-1500 (табл. 2.4, рис. 2.5) и параметрами удерживания индивидуальных предполагаемых веществ - парафиновых углеводородов, кетонов, спиртов. Соответствующие корреляции представлены на рисунке 2.6. и рисунке 2.7.

Таблица 2.4. Параметры удерживания компонентов идентифицируемой смеси и индивидуальных веществ на сорбенте: 15% ПЭГ-1500 на хроматоне N-AW-HMDS (температура колонки: 100 °С, стандарт: n-гептан, детектор: пламенно-ионизационный).

.№ пика на хроматограммах, полученных на SE-30, ПЭГ-1500	Параметры удерживания				Наименование предполагаемого компонента
	Компонентов смеси		Предполагаемых веществ		
	r	lg r	r	lg r	
1 - 8	0,108	-0,967	0,15 0,26 0,46	-0,82 -0,585 -0,34	Углеводороды C ₁ -C ₆ Бутен-1 n-пентан n-гексан
9+10	1,0	0,0	1,0 1,0	0,0 0,0	2,3-диметилпентан + n-гептан
11+12+13	2,11	0,324	1,87	0,27	3,4-диметилгексан +октан+ октен-1
14,15	Не разделились с n-нонаном				
16	Элюировался как пик № 29				
17	3,261	0,513	3,39	0,53	n-нонан
18-20	Не зарегистрированы				
21(a)	4,025	0,605	4,18	0,621	Ацетон
21	4,853	0,686	4,79	0,680	2,3,4-триметилгептан
22	6,127	0,787	6,5	0,62	Бутанон-2 (метилэтилкетон)
23	7,019	0,846	6,65	0,828	Пропанол-2 (изопропиловый спирт)
24	9,12	0,960			Неидентифицирован
25	11,987	1,079	11,26	1,05	Бутанол-2
26	14,28	1,155			Неидентифицирован
27	18,80				Неидентифицирован
28	22,18	1,346	23,0	1,36	Бутанол-1
29	25,55	1,407	26,7	1,426	Гептанон-2
30	34,72	1,541			Неидентифицирован

Таблица 2.5. Состав смеси, образующейся при холоднопламенном окислении n-гептана в реакторе, в присутствии воздуха в режиме определения детонационной стойкости углеводородов.

Наименование компонента	Содержание в продуктах превращения n-гептана, %, масс.
Водород	1,0
Окись углерода	32,2
Двуокись углерода	19,4
Вода	10,0
Сумма органических продуктов окисления	5,6
Метан	1,1
Этен (этан)	6,5
Пропен (пропан)	4,6
Бутен-1 (н-бутан)	2,3
Пентен-1 (н-пентан)	1,1
Гексен-1	0,2
Углеводороды C ₈ -C ₁₀	2,5
N-гептан непревращенный	13,5

Такой прием также часто применяется в газовой хроматографии для идентификации неизвестных веществ.

Как видно из рисунка 2.6, корреляционные зависимости для углеводородов и кислородсодержащих соединений подчиняются разным закономерностям. На полярной неподвижной фазе ПЭГ-1500 в условиях анализа легкие углеводороды C₁-C₈ не разделяются и выходят одним пиком (рис. 2.4). Параметры удерживания некоторых более высококипящих компонентов смеси ($T_{\text{кип.}} > T_{\text{кип. n-гептана}}$), соответствующих пикам №№ 12 + 13, 17, укладываются на характеристическую зависимость для углеводородов.

Этот результат подтверждает высказанное ранее предположение, что в продуктах превращения n-гептана в значительном количестве присутствуют углеводородные продукты его крекинга. Вместе с тем, в идентифицируемой смеси в небольших количествах обнаружены также и продукты окисления n-гептана. В частности:

пик № 21 (а) на рис. 2.4 можно идентифицировать как ацетон (его сигнал на SE-30 перекрывается пиком № 5, соответствующим пентену-1 (n-пентану));

пик № 22 на рис. 2.4 соответствует бутанону-2 (метилэтилкетону); его сигнал на SE-30 может перекрываться пиком гексена-1 под № 8;

пик № 23 может соответствовать изопропиловому спирту, который на SE-30 не разделяется с ацетоном и пентаном -1 (n-пентаном);

пик № 25 по времени удерживания на ПЭГ-1500 соответствует бутанолу-2; на SE-30 его может экранировать пик № 8 (гексен-1);

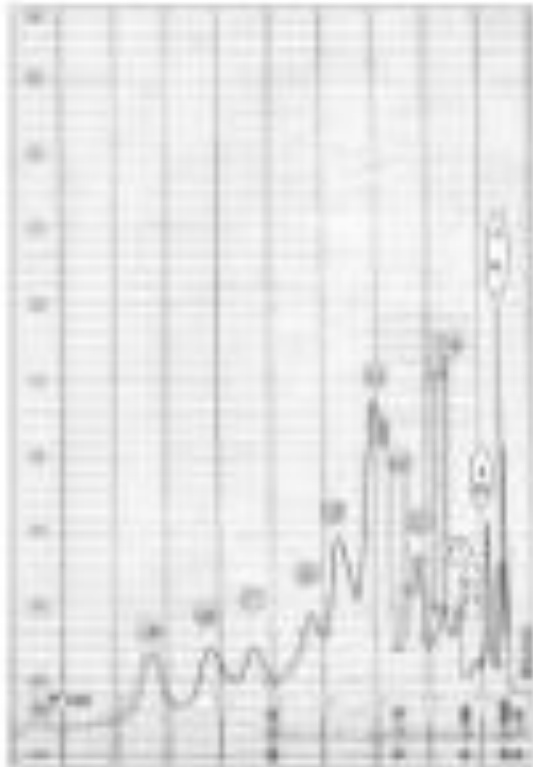


Fig. 1. Concentration of various substances in the atmosphere over time (mg/m³) in the city of Kyiv, 12.01.2017. The graph shows the concentration of SO₂, CO, NO₂ and O₃ over a 24-hour period. The highest concentration is observed for SO₂ at approximately 18:00.

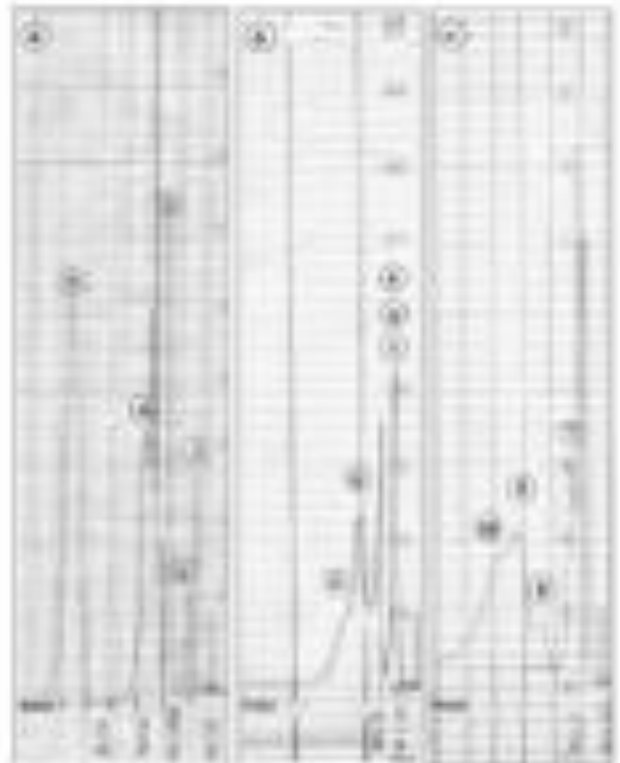


Fig. 2. Concentration of various substances in the atmosphere over time (mg/m³) in the city of Kyiv, 13.01.2017. The graph shows the concentration of SO₂, CO, NO₂ and O₃ over a 24-hour period. The highest concentration is observed for SO₂ at approximately 18:00.

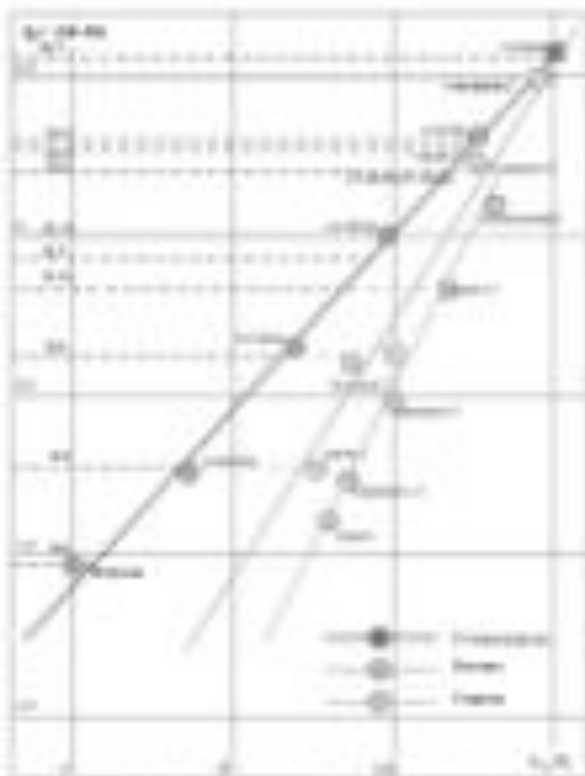


Fig. 3. Concentration of various substances in the atmosphere over time (mg/m³) in the city of Kyiv, 14.01.2017. The graph shows the concentration of SO₂, CO, NO₂ and O₃ over a 24-hour period. The highest concentration is observed for SO₂ at approximately 18:00.



Fig. 4. Concentration of various substances in the atmosphere over time (mg/m³) in the city of Kyiv, 15.01.2017. The graph shows the concentration of SO₂, CO, NO₂ and O₃ over a 24-hour period. The highest concentration is observed for SO₂ at approximately 18:00.

пик № 28 соответствует *n*-бутиловому спирту;
пик № 29 можно интерпретировать как гептанон-2; на хроматограмме, полученной на SE-30 (рис. 2.3), ему соответствует пик № 16.

Алифатических спиртов с числом атомов С > 4 и кетонов с числом атомов С > 7 в идентифицируемой смеси не обнаружено.

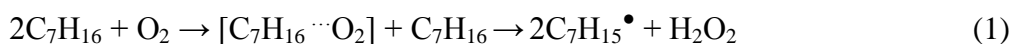
Для выяснения наличия в идентифицируемой смеси неорганических продуктов реакции холоднопламенного окисления *n*-гептана были получены хроматограммы компонентов смеси на адсорбентах – цеолите СаА и полисорбе-1, пропитанном 25% ПЭГА, с использованием катарометра. (рис. 2.5). Представленные хроматограммы свидетельствуют, что, наряду с органическими продуктами крекинга и окисления исходного углеводорода, в исследуемой смеси также присутствуют водород, вода, окись и двуокись углерода. Сопоставление полученных на цеолите СаА хроматограмм смеси с хроматограммами воздуха позволяет (по изменению соотношения кислород/азот в анализируемой пробе в сравнении с соотношением этих компонентов в воздухе) судить о конверсии кислорода из потока воздуха, с которым топливо поступает в реактор.

Обобщение результатов газохроматографического анализа продуктов превращения *n*-гептана на разных сорбентах позволило оценить количественный состав смеси, образующейся в реакторе ОК-2М в процессе измерения октанового числа (табл. 2.5).

В соответствии с полученными данными, степень конверсии *n*-гептана в реакции холоднопламенного окисления составляет 86,5%, а кислорода из протекающего через реактор потока воздуха - 65,1%.

3. Механизм реакций *n*-алканов в реакторе, нагретом до состояния возникновения реакции холоднопламенного окисления автомобильных бензинов.

Результаты масс-спектрального и газохроматографического анализа смеси, отобранной на выходе из реактора октанометра, свидетельствуют, что в процессе холоднопламенного окисления *n*-гептана в режиме определения детонационной стойкости бензинов образуются продукты расщепления и окисления исходных нормальных парафинов, что дает право судить о механизме протекающих в реакторе процессов. При интерпретации полученных результатов следует учитывать, что энергия активации термического распада линейных парафинов ниже, чем разветвленных, в то время как последние характеризуются более низкой величиной энергии активации реакции окисления. В реакторе при температуре 380-400 °С в присутствии кислорода воздуха изооктан, в противовес *n*-гептану, химическим превращениям не подвергается, что видно из эксперимента (табл.1.1, рис.1.1). *n*-гептан в тех же условиях разрушается только в присутствии кислорода – в атмосфере гелия, аргона и водорода исходный *n*-гептан выходит из реактора в неизменном виде (рис. 2.1.-2.5.). Принимая во внимание высокую склонность изомерных углеводородов к окислению, логично предположить, что начало реакции превращения *n*-гептана в реакторе октанометра дают не процессы окисления, а процессы распада углеводорода в присутствии кислорода воздуха, идентичные реакциям окислительного крекинга углеводородов, которые протекают через образование промежуточных комплексов кислорода с углеводородом:



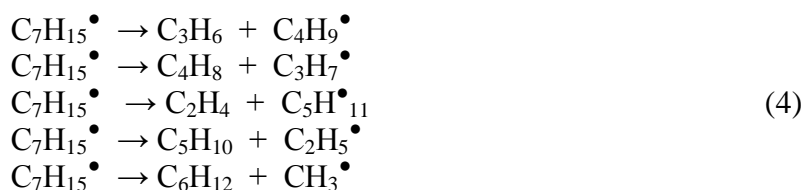
В пользу приведенного механизма инициирования реакций преобразования топлива в условиях холодногопламенного окисления говорит сопоставление значений энергии активации разных процессов превращения углеводородов (табл. 3.1).

Таблица 3.1. Значения энергии активации и теплового эффекта некоторых реакций превращения углеводородов.

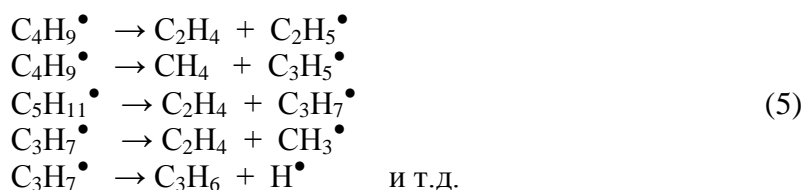
№№ п/п	Реакция	Энергия активации, E, кДж/моль	Тепловой эффект, Q, кДж/моль	Литерат ура
1	Крекинг:			
	н-алканов по связи С - С	343	-360	[8]
	изоалканов по связи С - С	325		[8]
	н-радикалов по связи С - С	125 ÷ 143	-126 ÷ -128	[8]
	изорадикалов по связи С-С	159 ÷ 163		[8]
	радикалов по связи С-Н	175	-165 ÷ -188	[8]
	радикалов с молекулой алкана	42 ÷ 50		[8]
	Радикалов с молекулой алкена	30		[8]
2	Крекинг окислительный	80 ÷ 100	75	[7]
3	Окисление:			
	алканов до спиртов	105 ÷ 147	146 ÷ 188	[7]
	алканов до кетонов		355	[7]
	алканов до альдегидов		284 ÷ 336	[7]
	алкенов до альдегидов		218,2	[7]

Из представленных в таблице 3.1 литературных данных следует, что, с термодинамической точки зрения, реакция окислительного крекинга как начальный акт преобразования топлива является предпочтительной, поскольку ее энергия активации ниже, чем у других возможных реакций превращения углеводородов – окисления и крекинга.

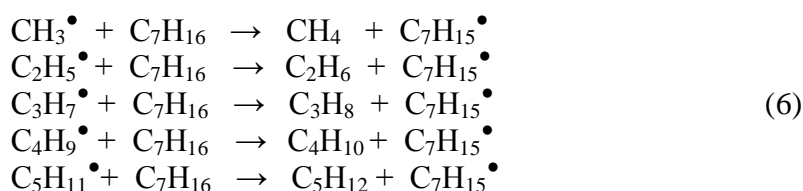
Представление о начальной стадии реакций преобразования топлива по приведенной схеме объясняет, почему разрушение *n*-гептана не происходит в инертной среде. Продукты реакций (1-3) неустойчивы и инициируют протекание цепных процессов в системе. В частности, углеводородный радикал инициирует эндотермические реакции крекинга типа:



Наиболее энергетически выгоден разрыв по середине цепи, наименее – распад по связи С – Н с отрывом атома водорода. Образующиеся радикалы подвергаются дальнейшим превращениям:



Менее вероятно протекание бимолекулярных реакций замещения образующихся радикалов молекулой алкана типа:



Вероятность протекания реакций замещения типа (6) повышается с ростом давления.

Образовавшиеся по схемам (1-6) углеводородные радикалы \mathbf{R}^\bullet вступают в активное взаимодействие с кислородом воздуха. Реакции окисления радикалов протекают с высокой скоростью, близкой к нулю энергией активации и, в отличие от реакций крекинга, с выделением большого количества тепла. Развиваются они, как и реакции крекинга, по цепному механизму:



где $\mathbf{R} = \text{C}_n \text{H}_{2n+1}$, а n изменяется от 1 до 7.

Взаимодействие пероксидного радикала ROO^\bullet с углеводородами, образовавшимися в системе, определяет строение гидропероксида ROOH и последующих продуктов его превращения:

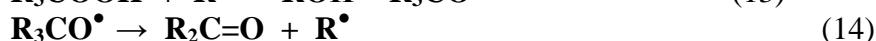


Цепь реакций (7-10) приводит к образованию спиртов. Тот факт, что в продуктах реакции не обнаружено высокомолекулярных спиртов (амилового, гексилового, гептилового), но зато идентифицированы спирты низкомолекулярные (метиловый, бутиловый), обусловлен низким содержанием углеводородных радикалов $\text{C}_5\text{H}_{11}^\bullet$, практическим отсутствием радикалов $\text{C}_6\text{H}_{13}^\bullet$ и косвенно свидетельствует о протекании реакции крекинга n-гептана по классическому пути с разрывом связи C-C по середине углеводородной цепи, как в молекуле исходного углеводорода, так и в образующихся радикалах.

Кетоны образуются из вторичных гидропероксидов R_2CHOOH через стадию радикал-гидропероксидов:



Третичные гидропероксиды при цепном превращении дают спирт и кетон с меньшим числом атомов углерода:



Окись и двуокись углерода образуются как продукты полного окисления некоторой части топлива.

Приведенные схемы согласуются с результатами масс-спектрального и газохроматографического анализа продуктов превращения *n*-гептана, объясняют наличие в составе последних как легких углеводородов, так и низкомолекулярных спиртов и кетонов, окиси, двуокиси углерода, воды и водорода, и позволяют судить о стадиях протекания процесса холоднотемпературного окисления *n*-алканов. Первой стадией процесса превращения линейных углеводородов (*n*-гептана), судя по полученным данным, является реакция окислительного крекинга, вызывающего расщепление углеводородных молекул. Эта стадия протекает с поглощением тепла. Вторая стадия процесса состоит в окислении топлива и сопровождается выделением большого количества тепла. Такой подход объясняет характер зарегистрированных зависимостей изменения температуры термометра, введенной в реактор: наблюдаемый на начальной стадии превращения топлива эндотермический эффект является отражением стадии окислительного крекинга углеводородов, а интенсивный экзотермический сигнал свидетельствует о нарастании вторичных процессов окисления.

Разветвленные углеводороды (изооктан), в отличие от линейных, не подвергаются в реакторе химическим превращениям, поскольку имеют более высокую энергию активации окислительного крекинга. Можно считать, что именно легкостью окислительного крекинга *n*-парафинов как первой стадии реакции холоднотемпературного окисления (он облегчается с удлинением линейной углеводородной цепи и затрудняется с ее разветвлением) и определяется низкая антидетонационная стойкость бензинов, обогащенных *n*-парафинами.

4. Анализ зависимости поведения температурных и временных параметров холоднотемпературного окисления углеводородного сырья с учетом механизма превращения исследуемых углеводородов.

Представленные выше результаты исследования химических превращений модельных соединений – *n*-гептана и изооктана – при температуре холоднотемпературного окисления углеводородов (360-380 °С) дают представление о поведении линейных и разветвленных углеводородов в этих условиях в присутствии кислорода воздуха. Вместе с тем, эти данные позволяют понять характер изменения температуры реакции от времени.

Рассмотрим принципиальные зависимости изменения температуры в реакторе октанометра от времени (рис. 3).

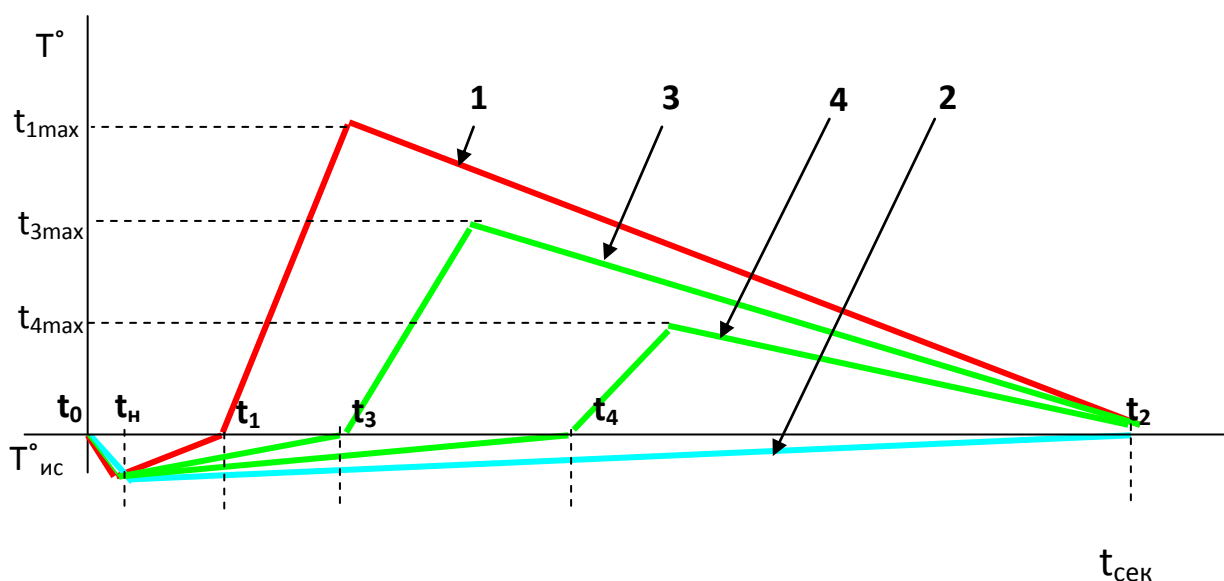


Рисунок 3. Зависимость изменения температуры в зоне холоднотемпературного окисления углеводородов в реакторе октанометра ОК-2М от времени: 1 – *n*-гептан, 2 – изооктан, 3 – смесь изооктан/*n*-гептан 2/1, 4 – смесь изооктан/*n*-гептан 3/1.

При определении октанового числа *n*-гептана (кривая 1), изооктана (кривая 2) и смесей изооктана и *n*-гептана в соотношениях 2/1 (кривая 3) и 3/1 (кривая 4). Как видно из рисунка, на начальном отрезке времени (t_0-t_n) все представленные кривые сливаются, что объясняется некоторым охлаждением рабочей зоны при испарении впрыскиваемой дозы топлива (5 мкл) в поток воздуха, непрерывно пропускаемый через реактор. Положение точки t_n во всех случаях соответствует температуре испарения топлива, которая для исходных углеводородов и их смесей приблизительно одинакова.

На участке времени $t_n - t_1$ наблюдается медленное повышение температуры в активной зоне реактора. В ряду кривых 1 → 3 → 4 → 2 угол наклона отрезка $t_n - t_i$ ($i = 1, 2, 3, 4$), уменьшается, а протяженность этого отрезка в том же ряду возрастает. Принимая во внимание предложенный выше механизм протекания реакций превращения линейных и разветвленных углеводородов в режиме определения октанового числа на октанометре ОК-2М, участок кривой $t_n - t_i$ следует рассматривать как соответствующий конкуренции эндотермической реакции крекинга топлива и экзотермической реакции окисления образующихся продуктов крекинга. Среди отрезков $t_n - t_i$ наибольший угол наклона к оси абсцисс и наименьшую протяженность имеет участок $t_n - t_1$ кривой 1 для *n*-гептана, обладающего высокой реакционной способностью в заданных условиях. Добавление изооктана к *n*-гептану в соотношении 2/1 (кривая 3) и 3/1 (кривая 4) приводит к последовательному снижению угла наклона участка $t_n - t_i$ к оси абсцисс и соответствующему увеличению его протяженности, что можно рассматривать как разбавление реакционноспособного *n*-гептана химически инертным в тех же условиях изооктаном. Угол наклона отрезка $t_n - t_2$ наименьший, а протяженность наибольшая и завершается, практически, не переходя ось абсцисс числа. Для изооктана отрезок $t_n - t_2$ соответствует возвращению температурной зависимости от точки испарения пробы t_n к исходной температуре реактора. Отсутствие иных перегибов на кривой 2 показывает, что, кроме испарения, проба изооктана введенная в реакторе октанометра не подвергается никаким превращениям.

Резкое увеличение угла наклона отрезка $t_1 - t_{1max}$ кривой 1 по сравнению с отрезком $t_n - t_1$ отражает интенсификацию процессов окисления *n*-гептана и продуктов его крекинга. Для смесей *n*-гептана с изооктаном угол наклона участков $t_3 - t_{3max}$ и $t_4 - t_{4max}$, соответствующих кривым 3 и 4, равно как и положение температурного максимума, снижается по мере увеличения разбавления *n*-гептана изооктаном. Падение максимальной температуры в реакторе наблюдается после завершения процесса холоднопламенного окисления, сочетающего в себе реакции крекинга и окисления углеводородов. Возвращение прибора в исходное состояние осуществляется с помощью системы автоматического регулирования температуры.

Длина начального участка процесса холоднопламенного окисления смеси углеводородов $t_n - t_i$, как и положение максимума приведенных кривых (максимальная температура реакции), изменяются симбатно с изменением содержания изооктана в дозе вводимого топлива. Таким образом, изооктан в процессе реакции выполняет роль ингибитора, замедляющего начало процесса холоднопламенного окисления топлива и понижая максимальную температуру суммарной реакции.

Наблюдаемая корреляция результатов определения детонационной стойкости углеводородов с исследованием механизма химических процессов, протекающих в реакторе в процессе работы, позволяет сделать заключение, что время и температура реакции холоднопламенного окисления топлив могут выступать в качестве параметров, эквивалентных октановому числу бензинов, определённого по исследовательскому и моторному методам.

1. Вихрестюк М.І., Іщук Ю.Л. Склад, структура і роль кисневмісних сполук в мастильних матеріалах різного призначення. // Катализ и нефтехимия – 2003. – № 11. – С. 29-35.
2. Вигдергауз М.С., Измайлов Р.И. Применение газовой хроматографии для определения физико-химических свойств веществ. – М.: Наука, 1970. – 159 с.
3. Столяров Б.В., Савинов И.М., Витенберг А.Г. Руководство к практическим работам по газовой хроматографии. – Ленинград.: Химия, 1988. – 334 с.
4. Справочник химика. – Л.: Химия, 1971. – Т. 1. – 1168 с.
5. Грузе В.А., Стивенс Д.Р. Технология переработки нефти. – М.: Химия, 1985. – 278с.
6. Физер Л., Физер М. Органическая химия. – М.: Химия. – Т.1. – 680 с.
7. Лебедев Н.Н. Химия и технология основного органического синтеза. – М.: Химия, 1988. – 587 с.
8. Магарил Р.З. Теоретические основ химических процессов переработки нефти. – М.: Химия, 1985. – 278 с.
9. Ксандопуло Г.И. Химия пламени. – М.: Химия, 1980. – 256 с.
10. Киселёв В.П., Киселёв Ю.В., Гоцуленко В.В. Способ определения октанового числа топлив и устройство для его реализации. Декларационный патент на изобретение UA57987 A; G01 N25/00. 13.06.2002.

Кисельов Ю.В., Жебровська К.І., Мельникова С.Л., Вихрестюк Н.І.
ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕБІГУ РЕАКЦІЇ ХОЛОДНОПОЛУМ'ЯНОГО
ОКИСЛЕННЯ ВУГЛЕВОДНІВ В РЕАКТОРІ Октанометр ОК-2М.

Робота експрес аналізатора детонаційної стійкості бензинів ОК-2М базується на реєстрації теплового ефекту процесу передполум'яного перетворення палив, що передують повному згорянню паливо-повітряної суміші.

Проте, проста реєстрація теплового ефекту, не дає уявлення про хімічні перетворення палива, що передують згорянню паливо-повітряної суміші.

З'ясовувався склад продуктів, що утворюються в реакторі приладу ОК-2М в режимі визначення детонаційних характеристик палив, і механізм протікаючих при цьому процесів.

Зіставлення спостережуваних результатів визначення октанового числа сумішей індивідуальних вуглеводнів з результатами дослідження механізму хімічних процесів в реакторі дозволяє зробити висновок про те, що час і температура реакції холодногополум'яного окислення палив можуть використовуватися в якості параметрів, еквівалентних октановому числу бензинів, визначеному за дослідницьким і моторним методам.

Ключові слова: паливо-повітряна суміш, передполум'яне перетворення.

Kyselov Yu.V., Zhebrovskaya K.I., Melnikova S.L., Vykhrestyuk N.I.
INVESTIGATING THE WAY A COLD-FLAME OXIDATION REACTION OF
HYDROCARBONS IN THE OK-2M OCTANOMETER REACTOR.

The operation of the OK-2m express analyzer of petrol anti-knock value is based on registering the heat effect of fuel preflame transformation preceding complete combustion of a fuel-air mixture.

However, the heat effect registration alone does not give us an insight into fuel chemical transformation prior to complete combustion of a fuel-air mixture.

The article is devoted to elucidating the composition of products formed in the OK-2m reactor in the process of determining fuel anti-knock rating, as well as to the mechanisms of the processes involved.

Correlation of the observed results of determining the octane numbers of blends of individual hydrocarbons with those of studying the mechanism of chemical processes in the reactor allows to conclude that the time and temperature of a cold-flame oxidation reaction can be used as parameters equivalent to the petrol octane number determined by the research and the motor methods.

Keywords: *fuel-air mixture, pre-flame conversion.*

В.В. КУКУЄВА, Т.М. РИГА¹

*Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища» НАН України,
м. Київ*

¹Черкаський Державний Технологічний університет, м. Черкаси

ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ПОШУКУ ШЛЯХІВ УТИЛІЗАЦІЇ ФОСФОРОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

Для пошуку шляхів утилізації отруйних фосфорорганічних сполук, які накопичені в Україні за роки Холодної війни, запропоновано обчислювальний підхід, що дозволяє за аналізом розрахованих енергій зв'язків дослідити реакційні шляхи деструкції молекул небезпечних речовин і обрати найбільш оптимальну в енергетичному сенсі послідовність реакцій перетворення. Показано відповідність меншої енергії розриву зв'язків найбільш ймовірному хімічному перетворенню отруйних представників хімічної зброї. Доведено, що замість утилізації небезпечних для навколишнього середовища фосфорорганічних речовин шляхом спалювання може бути застосований більш м'який реакційний шлях. Показано, що виділений на першій стадії інтермедіат може бути використаний у подальшому синтезі фосфоровмісних вогнегасних речовин.

Постановка проблеми

Питання, пов'язані зі зберіганням і знищенням непридатних до використання або заборонених до застосування засобів захисту рослин, токсичних промислових відходів, хімічної зброї та інших сильнодіючих отруйних речовин (СДОР), не вирішуються, на жаль, десятиліттями. Накопичення СДОР загрожують населенню та навколишньому середовищу. Небезпеку посилює той факт, що більшість отрутохімікатів знаходиться у занедбаних складських приміщеннях, а інколи просто під відкритим небом, на звалищах тощо. При цьому серед отрутохімікатів є такі небезпечні для життя високотоксичні речовини, як хлорорганічні, фосфорорганічні та інші. Таке положення в будь який момент може стати причиною надзвичайних ситуацій – отруєння людей, тварин, забруднення продуктів харчування, водного басейну, ґрунтів.

На території України знаходиться 877 хімічно небезпечних об'єктів та 287 000 об'єктів використовують у своєму виробництві СДОР або їх похідні (у 140 містах та 46 населених пунктах). Нарощування хімічного виробництва призвело також до зростання кількості промислових відходів, які становлять небезпеку для оточуючого середовища і людей. Тільки токсичних відходів в Україні накопичено більше 4 млрд. т., при середньорічному виробництві 103 млн. т. [1]. Отже, аналіз стану зберігання СДОР, а також елементарні знання щодо захисту людського організму від можливої небезпеки отруєння деякими найбільш поширеними сильнодіючими отруйними речовинами, а також шляхи їхньої утилізації не втрачають своєї актуальності і сьогодні. Адже накопичення парів СДОР у складських приміщеннях може стати причиною загоряння, а горіння таких хімічних сполук дасть поштовх утворенню хмари отруйних газів, яка в залежності від кліматичних умов поширюватиметься на значні території. Отже, посилення пожежної профілактики в місцях накопичення та зберігання СДОР, а також пошук шляхів переробки існуючих запасів отруйних речовин є важливим завданням не тільки для підрозділів оперативно-рятувальної служби МНС України, але і для всього нашого суспільства.

Актуальність роботи

На сьогодні у світі виробляється більше 1 млн. найменувань хімічних речовин, 600 тис. з яких широко використовуються в промисловості та народному господарстві [1]. Надзвичайно багато отруйних речовин, які колись мали сільськогосподарське призначення (пестициди, гербіциди, тощо), зберігається на території колишніх колгоспів і радгоспів. Тільки в Черкаській області на зберіганні знаходиться близько 500 т. отрутохімікатів (с. Єрки), які мають статус невиявлених речовин. Крім того, на території України існує значна кількість об'єктів військової діяльності, могильників радіоактивних і токсичних відходів, склади ракетних палив, склади з хімічною зброєю. Військові бази на території Дніпропетровської (м. Павлоград), Вінницької, Івано-Франківської, Львівської, Харківської, Київської та Одеської областей містять в собі загрозу для 90% жителів України.

У містах і селах, поблизу яких розташовані склади отруйних речовин, зрозуміло, що токсичні отрути потрапляють в атмосферу та ґрунт. Наведемо декілька прикладів наслідків зберігання СДОР поблизу населених пунктів. В смт. Краснознам'янка та смт. Радісне Одеської області вже померло близько ста людей унаслідок зберігання радіоактивних відходів неподалік від сіл. У березні 2002 року в Україні трапилася чергова надзвичайна подія. Села Болеславчик, юХУПЧПК-1, юХУПЧПК-2, Підгір'я і Мічуріне (Первомайський р-н Миколаївської області) були оголошені зоною екологічного лиха. Тоді на токсикодермію невідомого походження захворіла 331 особа, у тому числі 175 дітей. На старих, що залишилися з часів СРСР, складах військової частини А-0312 в Полтавській області військові зберігають більше семи тонн смертельно небезпечної речовини зарин, а також більше тонни бойового отруйного газу.

Розвиток рентабельних технологій очищення та переробки фосфорорганічних сполук (ФОС) є пріоритетним для екологічної безпеки і дослідження шляхів відновлення навколишнього середовища. Розуміння процесів розкладання фосфорорганічних сполук має важливе значення для розробки нових методів захисту персоналу від впливу агентів хімічної зброї та інших подібних хімічних промислових сполук [2]. Дуже важливі в цьому відношенні фундаментальні знання про фізико-хімічну поведінку цих органічних молекул в ґрунті, ґрунтових водах і їх вплив на промислово важливі матеріали (наприклад, при тривалому зберіганні). Одним із потенційно важливих аспектів розуміння цієї фундаментальної поведінки і, як ми вважаємо, цінний внесок у долю фосфорорганічних сполук є детальне вивчення їх розкладання при зберіганні, а також вивчення утворених продуктів розкладання, і відповідно, їх вплив на навколишнє середовище. Отже, фундаментальна хімія управління цими взаємодіями допоможе розвитку кращої стратегії в управлінні екологією. Так, наприклад, застосування гетерогенних каталітичних методів в очищенні вихлопних газів автомобілів являє собою найбільш поширену сферу залучення населення до переваг каталітичної технології [3-6]. Крім того, у разі фосфорорганічних сполук це може призвести до поліпшення технологій їх каталітичного розкладу, оскільки деградація фосфорорганічних сполук має велике значення для безпеки навколишнього середовища і здоров'я населення [3]. Отже, проблема подальшого вивчення ФОС, а особливо пошук можливостей їх утилізації залишається актуальним питанням для науковців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Незважаючи на те, що фосфорорганічні сполуки мають сільськогосподарське, промислове і військове застосування, знання про продукти розкладання вкрай обмежені [4-6]. Так, основні процеси, що лежать в основі природної та технічної обробки органофосфатів, описані на якісному рівні, але багато питань все ще залишаються невирішеними. Крім того, незважаючи на існування деяких експериментальних даних і застосування деяких методів аналізу шляхів розподілу забруднюючих речовин у ґрунті,

грунтових водах та інших матеріалах, технології переробки отруйних речовин на рівні механізмів хімічних реакцій все ще не охарактеризовані. Зважаючи на шкідливий вплив отруйних речовин і в зв'язку з цим небезпеку для життя при експериментальних дослідженнях, інколи теоретичні комп'ютерні методи стають чи не єдиним шляхом для з'ясування механізмів їхнього перетворення. З середини 1980-х років обчислювальна хімія стала однією з швидко зростаючих областей хімії. Розвиток більшого розуміння фізичних і хімічних процесів, що беруть участь у деградації забруднюючих речовин, сприятиме створенню більш рентабельних та ефективних заходів щодо захисту навколишнього середовища та здоров'я людини. Комплексне дослідження може допомогти вирішити ці проблеми і, таким чином, удосконалити методи очищення довкілля від забруднюючих речовин. Обчислювальні методи надають широкий спектр потужних інструментів для розкриття механізмів складних реакцій за участю небезпечних речовин, у тому числі отруйних фосфорорганічних сполук [6].

Коротко охарактеризуємо ізопропіл метилфосфонофлуоридат (зарин), як один з найбільш відомих представників хімічної зброї. Зарин відноситься до групи нестійких бойових отруйних речовин (БОР). За кімнатної температури зарин – безбарвна рідина без запаху. Зміщується з водою і органічними розчинниками у всіх співвідношеннях. Відносно високий тиск його пари призводить до того, що він швидко випаровується, повільно гідролізується водою, легко реагує з водними розчинами лугів, аміаку і амінів (ці реакції можуть застосовуватися для дегазації). Зазвичай для дезактивації зарину застосовується 18-відсотковий водний розчин гідроксиду натрію. Феноляти та алкогольати дегазують зарин дуже легко (навіть в сухому стані). В крапельно-рідкому вигляді стійкість зарину може складати: влітку – декілька годин, взимку – декілька діб. Термін життя може бути сильно скорочений за наявності домішок в реагентах, які використовуються для синтезу зарину. За даними міжнародної наукової літератури, зарин може використовуватися як двокомпонентна хімічна зброя у вигляді двох його попередників – дифлуориду метилфосфонової кислоти і суміші ізопропілового спирту та ізопропіламіну. При цьому ізопропіламін зв'язує флуороводень, який утворюється при хімічній реакції [1].

Одним з ефективних методів знищення токсичних хімічних відходів та інших небезпечних речовин, у тому числі хімічної зброї, є технологія спалювання [7]. Цей метод був прийнятий в програмі знищення хімічної зброї в США в якості основної (базової) технології та успішно реалізований на атолі Джонстон [8]. У Росії технології знищення хімічної зброї спалюванням використовуються в пересувному комплексі КУАСІ, призначеному для знищення аварійних хімічних боєприпасів в польових умовах [9]. В основі дії комплексу лежить двостадійна технологія – детоксикація фосфорорганічних отруйних речовин (ОР) зарину і зоману моноетаноламіном з наступним спалюванням реакційних мас. Незважаючи на появу альтернативних методів знищення хімічної зброї, метод спалювання поряд з іншими, як і раніше залишається одним з найбільш перспективних. Хоча ефективність знищення ОР спалюванням була продемонстрована в США на атолі Джонстон, однак, щоб досягти більш високої ефективності деструкції ОР і більш низьких рівнів викидів забруднюючих речовин, потрібне краще розуміння хімічних процесів, що відбуваються в печах. Знання детальної хімії деструкції ОР може бути отримане вивченням структури полум'я з добавками ОР або моделюючих їх речовин із подальшим створенням моделі горіння, яка повинна включати хімічний механізм деструкції ОР в полум'ї на рівні елементарних стадій. У зв'язку з цим великий інтерес представляє вивчення процесів горіння фосфорорганічних сполук (ФОС), до числа яких входить зарин і моделюючі його фосфати і фосфонати – диметил метилфосфонат (ДММФ), триметилфосфат (ТМФ), трибутилфосфат та ін.

Вивчення структури полум'я з добавками фосфоровмісних сполук представляє великий інтерес також у зв'язку з їх інгібуючою або промотуючою дією на процеси горіння. ТМФ є інгібітором горіння [10], ДММФ використовується як антипірен у полімерних матеріалах [11]. Нещодавно в роботі [12] було повідомлено, що введення добавок фосфіну в камеру згорання авіаційних двигунів з надзвуковим горінням сприяє збільшенню повноти згорання і зниженню температури горіння воднево-кисневих палив за рахунок каталізу оксидами фосфору реакції рекомбінації атомів гідрогену і гідроксилу в продуктах горіння. Відомо також декілька робіт з вивчення піролізу ФОС [10-12].

Основний матеріал

Оскільки Монреальським протоколом у 1994 році [13] було заборонено виробництво і використання різноманітних галогеновмісних сполук, включаючи CF_3Br , у зв'язку з участю атомів хлору і бром у каталітичному руйнуванні озонового шару нашої планети, виник підвищений інтерес до розвитку нових хімічно активних вогнегасних речовин. Нині досить інтенсивно вивчаються властивості фосфорорганічних сполук (ФОС) як інгібіторів горіння [14-17], а також механізми їхньої дії на полум'я [16, 20]. Фосфатні етери викликають особливий інтерес як вогнегасні речовини, оскільки вони практично не спалахують і здатні до самозагасання [17]. Представниками цього класу сполук, які заслуговують на увагу дослідників, є фосфорорганічні вогнегасні речовини, такі як триметилфосфат (ТМФ) $\text{OP}(\text{OCH}_3)_3$ і диметил метил фосфонат (ДММФ) $\text{OP}(\text{CH}_3)(\text{OCH}_3)_2$. Експериментальні вимірювання в полум'ї при атмосферному тиску продемонстрували, що ДММФ високоефективний вогнегасний засіб (в 2-4 рази більш ефективний, ніж CF_3Br) [14]. Диметил метилфосфонат ($\text{O}=\text{P}(\text{CH}_3)(\text{OCH}_3)_2$) приблизно в 40 разів ефективніший за молекулярний азот і більш ніж в 4 рази ефективніший за хладон 1301 (CF_3Br) при гасінні дифузійного полум'я [14]. Фосфоровмісні сполуки в 3-4 рази ефективніші, ніж CF_3Br [14]. Як було виявлено в [11, 12] додавання фосфіну до воднево-повітряного полум'я каталізує рекомбінацію H^\bullet і OH^\bullet радикалів і, таким чином, сприяє більш швидкій тепловтраті. Однак в літературі відсутня однозначна думка щодо особливостей механізму інгібування полум'я ФОС.

Для дослідження було взято дві фосфорорганічні сполуки, які проявляють інгібувальні властивості по відношенню до полум'я – триметилфосфат (рис.1) і диметилметил фосфонат (рис.2). Триметилфосфат ($\text{C}_3\text{H}_9\text{O}_4\text{P}$) і диметилметилфосфонат – метилові ефіри фосфатної і фосфонатної, відповідно, кислот, за звичайних умов – леткі рідини, за шкідливістю для людського організму прирівнюються до етилового спирту. Інша, подібна за походженням і хімічною будовою, фосфорорганічна речовина належить до хімічної зброї – зарин (рис.3).

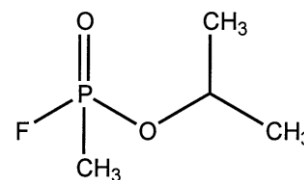
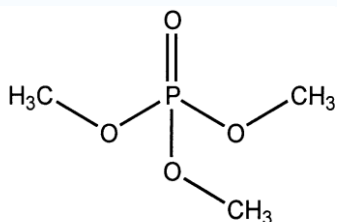


Рис. 1. Триметилфосфат **Рис. 2.** Диметилметилфосфонат **Рис. 3.** Зарин

Якщо порівняти молекулярну будову досліджуваних речовин, то одразу видно певну подібність. Пошук імовірних шляхів деструкції цих речовин, а отже, аналіз міцності зв'язків допоможе з'ясувати які молекули і радикали будуть присутні при термічному розкладанні досліджуваних молекул. Для дослідження шляхів деструкції фосфорорганічних сполук застосовано неемпіричний квантово-хімічний метод із

використанням базисного набору 6-311G* [18]. Результати розрахунків енергії реакційних шляхів розкладання зарину, представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Розрахунок шляхів термічного розкладання зарину.

№ п.п.	Шлях деструкції	Енергія, $E_{\text{дест}}$, ккал\моль
1.	$\text{FO}(\text{CH}_3)\text{POCH}(\text{CH}_3)_2 \rightarrow \bullet\text{OP}(\text{CH}_3)\text{HOC}(\text{CH}_3)_2 + \text{F}\bullet$	43.92
2.	$\rightarrow \bullet\text{FOPOCH}(\text{CH}_3)_2 + \text{CH}_3\bullet$	37.65
3.	$\rightarrow \text{FO}(\text{CH}_3)\text{P}\bullet + \text{OCH}(\text{CH}_3)_2\bullet$	25.1
4.	$\rightarrow \text{FO}(\text{CH}_3)\text{PO}\bullet + \text{CH}(\text{CH}_3)_2\bullet$	69.025
5.	$\rightarrow \text{FO}(\text{CH}_3)\text{POCH}(\text{CH}_3)\bullet + \text{CH}_3\bullet$	62.75

Як показують результати розрахунків (табл.1), найменшої енергії вимагають третя реакція з утворенням радикалу $\text{OCH}(\text{CH}_3)_2\bullet$ і друга – з відщепленням метильного радикалу. Флуор відщеплюється з енергією 43,92 ккал\моль, що є цілком досяжним в умовах спалювання в печах. Якщо на цьому етапі забезпечити його відведення з реакційної суміші (наприклад, взаємодією з атомарним воднем), то інші радикали можуть бути використані для синтезу фосфорорганічних речовин, які можуть бути використані як інгібітори горіння.

В роботі [16] запропоновано загальний механізм перетворення фосфорорганічних сполук (ФОС) в полум'я. Показано, що термічне розкладання досліджуваних сполук відбувається шляхом заміщення $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{O}$ радикалами $\text{H}\bullet$ і $\text{OH}\bullet$. Було також визначено кінцеві продукти горіння фосфоровмісних сполук. На відміну від механізму, запропонованого в названій роботі, згідно з результатами наших розрахунків взаємодія ДММФ з атомами водню з утворенням $\text{CH}_3\bullet$ енергетично вигідніше ніж взаємодія з гідроксильним радикалом, в результаті якого утворюється радикал $\text{CH}_2\text{O}\bullet$. Що стосується інших запропонованих шляхів реакцій перетворення ДММФ, то енергії, отримані нами в результаті розрахунків, корелюють з даними роботи [20].

Автори роботи [20] запропонували включити до механізму деструкції ДММФ кілька первинних стадій, які призводять до утворення сполук $\text{НОРО}(\text{CH}_3)(\text{OCH}_3)$, $\text{НОРО}(\text{OCH}_3)_2$, $\text{НОР}(\text{CH}_3)(\text{OCH}_3)_2$, $\text{РО}(\text{CH}_3)(\text{OCH}_3)$ (OCH_2). В роботі [19] було застосовано ітеративний підхід до розвитку моделі для дослідження поведінки ДММФ в залежності від коливання температури і співвідношення паливо/окисник. На першій стадії було досліджено водневе полум'я при низькій температурі ($T < 1500$). Як відомо, водневе полум'я може бути представлене сукупністю радикалів ($\text{H}\bullet$, $\text{OH}\bullet$ і $\text{O}\bullet$), які утворюються при ланцюговому горінні і в спеціальній науковій літературі називаються активними центрами полум'я (АЦП). Було показано, що в низькотемпературному полум'я деструкція ДММФ під впливом атаки радикалами $\text{H}\bullet$ і $\text{OH}\bullet$ переважає піролітичне розкладання [20]. Співвідношення водень / кисень $\Phi = 1.4$ обрано для забезпечення басейну АЦП, в якому переважають $\text{H}\bullet$ і $\text{OH}\bullet$, щоб мінімізувати вплив реакції за участю $\text{O}\bullet$. Враховуючи те, що розвинене горіння відбувається при значно вищій температурі, вважаємо, що ключовою стадією інгібування все ж таки буде піролітичне розкладання фосфоровмісних інгібіторів. Результати розрахунків шляхів піролітичного розкладання молекули ДММФ обраним методом дослідження представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Розрахунок шляхів термічного розкладання ДММФ у водневому полум'ї

№ п.п.	Елементарні акти взаємодії ДММФ і продуктів деструкції з АЦП	Енергія взаємодії, E, ккал\моль
1.	$OP(CH_3)(OCH_3)_2 + OH^\bullet \rightarrow OP(CH_3)(OCH_3)_2^\bullet + H_2O + H^\bullet$ $\rightarrow OP(CH_3)(OCH_3)_2^\bullet + H_2$	35,8 6,3
2.	$OP(CH_3)(OCH_3)_2 + OH^\bullet \rightarrow OP(CH_3)(OCH_3)(OH)^\bullet + OCH_3^\bullet$ $+ H^\bullet \rightarrow OP(CH_3)(OCH_3)(OH)^\bullet + CH_3^\bullet$ $+ M \rightarrow OP(CH_3)(OCH_3)^\bullet + OCH_2^\bullet$	33,7 25,1 6,3
3.	$OP(CH_3)(OCH_3)^\bullet + M \rightarrow O_2PCH_3 + CH_3^\bullet$	75,3
4.	$O_2PCH_3 + H^\bullet \rightarrow OP(OH)(CH_3)^\bullet$	100,4
5.	$OP(OH)(CH_3)^\bullet + M \rightarrow OPOH + CH_3^\bullet$	37,7
6.	$OP(CH_3)(OCH_3)(OH)^\bullet + M \rightarrow O_2PCH_3^\bullet + CH_3OH$ $OP(CH_3)(OCH_3)(OH)^\bullet + M \rightarrow O_2POCH_3^\bullet + CH_4$ $OP(CH_3)(OCH_3)(OH)^\bullet + OH^\bullet \rightarrow OP(CH_3)(OH)_2^\bullet + OCH_3^\bullet$ $OP(CH_3)(OCH_3)(OH)^\bullet + H^\bullet \rightarrow OP(CH_3)(OH)_2^\bullet + CH_3^\bullet$	50,2 43,9 18,8 43,9
7.	$OP(CH_3)(OH)_2 + OH^\bullet \rightarrow OP(OH)_3 + CH_3^\bullet$	12,5
8.	$OP(OH)_3 + H^\bullet \rightarrow OP(OH)_2^\bullet + H_2O$	31,2

Якщо проаналізувати розраховані енергії хімічних перетворень ДММФ (табл. 2), одразу помітна значно менша енергія взаємодії на першій стадії у випадку атаки молекули інгібітора АЦП. Характерно при цьому, що ймовірніше в результаті реакції утвориться молекулярний водень, хоча цілком можливий і реакційний шлях, коли при взаємодії з гідроксильними радикалами утворюється молекула води. Цікаво відмітити, що радикал $OP(CH_3)(OCH_3)_2^\bullet$ взаємодіє як з атомарним киснем, так і з гідроксильним радикалом із досить низькою енергією. Відносно низька енергія взаємодії спостерігається і на наступних стадіях розкладання ДММФ (стадії 3, 5, 6 в табл. 2). Досить ефективним інгібітором горіння, згідно наших розрахунків, виявився радикал $OP(CH_3)(OCH_3)(OH)^\bullet$, який на стадії 6 (табл. 2) рекомбінує з невисокою енергією як при зіткненні з АЦП, так і з механічною домішкою М. Аналогічний радикал утворюється при розкладанні зарину (табл.1) на першій стадії $OP(CH_3)C(CH_3)_2OH^\bullet$. Отже, при відщепленні атома флуору на першій стадії хімічної деструкції зарину цей проміжний продукт при відповідних способах екстракції може бути використаний для подальшого синтезу ефективних фосфоровмісних вогнегасних речовин.

Висновки і перспективи

Отже, проведені розрахунки дозволили передбачити основні продукти термічного розкладання досліджуваних речовин, а також імовірні інтермедіати, які утворюються при спалюванні ФОС і можуть бути використані для подальшого синтезу високоефективних інгібіторів горіння. Обчислювальний аналіз дозволяє поряд з хроматографічними методами дослідження умовно розділити продукти хімічних реакцій на підставі порівняння енергій відповідних зв'язків та запропонувати найбільш оптимальні шляхи перетворення молекул небезпечних хімічних сполук. Наступним етапом дослідження буде обчислення енергії перетворення одних речовин в інші. Таким чином, можна розкрити повний механізм можливих хімічних перетворень фосфорорганічних сполук і обрати оптимальний реакційний шлях для їхньої утилізації.

1. Раділов А.С., С.В. Нагорный, В.Р. Рембовский, Е.Е. Ермолаева, Е.И. Савельева, Н.В. Гончаров, Н.Л. Корягина, Е.А. Цибульская, Н.С. Хлебникова, Ф.А. Цимбал

- Токсикологическая оценка опасности отходов бывших предприятий по производству и использованию отравляющих веществ. А.С.Радилов, / Ж.Рос.Хим.об-ва им. Д.И. Менделеева, 2007. – т.LI, № 2. – С. 77-83.
2. Корягина Н.Л., Определение нелетучих органических соединений методом газовой хроматографии-масс-спектрометрии в токсикологических исследованиях. 2007. диссерт. к.х.н., Санкт-Петербург.
 3. Ekerdt J. G., Klabunde K. J., Shapley J. R., White J. M., and Yates J. T., Surface chemistry of organophosphorus compounds // J. Phys. Chem. – 1988. – 92. – P. 6182-6188.
 4. Ewing K. J., and Lerner B., Infrared detection of the nerve agent sarin (isopropyl methylphosphonofluoridate) in water using magnesium oxide for preconcentration // Applied Spectroscopy. – 2001. –V. 55(4). – P. 407-411.
 5. Michalkova A. A, Leonid Gorb and Jerzy Leszczynski. Quest for efficient methods of desintegration of organophosphorus compounds: modelling adsorption and decomposition processes // Ch. 16, in “Modeling Adsorption and Decomposition Processes”, in book: Molecular Materials with Specific interactions – Modeling and design,(Ed.) W.A.Sokalski. – 2007. – 598 p.
 6. Кукуєва В.В., Водяницький О.О., Рига Т.М. Екологічні аспекти дослідження фосфорорганічних речовин // Екологія та освіта: актуальні проблеми природокористування в умовах наростаючих ризиків техногенних катастроф: Міжн. наук.-техн. конф., 19–20 квітня 2012 р.: тез. доп. – Черкаси, 2012. – С. 214–216.
 7. Dempsey C.R., Oppelt E.T., Incineration of hazardous waste: a critical review update / Air and Waste. 1993.- V. 43.- P. 25-73
 8. Johnston Atoll Chemical AGENT Disposal System. Green Cover Review Draft. Final Second Supplemental Environmental Impact Statement for the Storage and Ultimate Disposal of the Eiropean Chemical Munitions Stockpile. April.1990.
 9. Жданов В.А., Кошелев В.М., Новиков В.К, Шувалов А.А., Методы уничтожения фосфорорганических отравляющих веществ // Рос. Хим. Журн.- 1993.- Т. 37, № 3.- С. 22-25
 10. Hastie J.W., Bonnel D.W. Molecular chemistry of inhibited combustion systems. National Bur of Standards Report # NB
 11. Twarowski A. The influence of phosphorus oxides and acids on rate of H+OH recombination // Combust. Flame.-1984.- V. 94. - P. 91-107.
 12. Twarowski A. Reduction of a phosphorus oxide and acid reaction set //Combust. Flame.- 1995. - v.102. - P. 41-54.
 13. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, with later amendments, <http://www.ciesin.org/TG/PI/POLICY/montpro.html>.
 14. Babushok, V. Tsang W. Influence of Phosphorus-Containing Fire Suppressants on Flame Propagation. Proceedings, Third International Conference on Fire Research and Engineering. – Chicago, Illinois. – 4–8 October 1999. – PP. 257–267.
 15. MacDonald, M. A., Jayaweera, T. M., Fisher, E. M., and Gouldin, F. C., Variation of chemically active and inert flame-suppressant effectiveness with stoichiometric mixture fraction, – 27th Proc. Combust. Inst. – 1998. – P. 2749–2756.
 16. Werner J.H., Cool T.A.. Kinetic Model for the Decomposition of DMMP in a Hydrogen/Oxygen Flame. –Combust. Flame. – 1999. –V 117. – P. 78–98.
 17. Zegers, E. J. P., and Fisher, E. M., Gas-Phase Pyrolysis of Diethyl Methylphosphonate. – Combust. Sci. Tech. . – 1996. – V. 116–117. – P. 69–89.
 18. Granovsky A.A. URL [http:// classic.chem.msu.su/gran/gamess/index.html](http://classic.chem.msu.su/gran/gamess/index.html) GAMESS PC.
 19. Linteris G. T. Suppression of Cup-Burner Diffusion Flames by Super-Effective Chemical Inhibitors and Inert Compounds. – Halon Options Technical Working Conference: Int. conf. 24–26 April 2001 – Albuquerque, New Mexico, 2001. – P.178.

20. Коробейничев О.П., Шварцберг В.М., Ильин С.Б. Химия деструкции фосфорорганических соединений в водородно-кислородных пламенах // Физика горения и взрыва. – 1997. – Т.33, № 3. – С. 32–48.

Кукуева В.В., Рига Т.М.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ПОДХОД К ПОИСКУ ПУТЕЙ УТИЛИЗАЦИИ ФОСФОРОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ

Для поиска путей утилизации фосфорорганических соединений, которые накопились в Украине за годы холодной войны, предложен вычислительный подход, позволяющий по анализу рассчитанных энергий связей исследовать реакционные пути деструкции молекул опасных веществ и выбрать наиболее оптимальную в энергетическом смысле последовательность реакций превращений. Показано соответствие меньшей энергии разрыва связей наиболее вероятному химическому превращению ядовитых представителей химического оружия. Доказано, что вместо опасной утилизации фосфорорганических веществ путем сжигания может быть применен более мягкий реакционный путь. Показано, что выделенный на первой стадии интермедиат может быть использован в дальнейшем синтезе фосфорсодержащих огнетушащих веществ.

VV .Kukueva, T.M. Riga

COMPUTATIONAL APPROACH TO SEARCH FOR THE PHOSPHORUSORGANIC COMPOUNDS UTILIZATION

In order to find ways to utilize the organophosphorus compounds accumulated in Ukraine during the Cold War years, a computational approach is proposed, which allows, by analyzing the calculated binding energies, to research the reactionary ways of degradation of hazardous substance molecules and to choose the most energetically optimal sequence of transformation reactions. It is shown that the less energy of bond breaks corresponds to the most likely chemical transformation of poisonous chemical weapons representatives. It has been proved that instead of hazardous utilization of organophosphorus substances by burning, a milder reaction route can be applied. It is shown that the separated at the first stage intermediate can be used in the further synthesis of phosphorus-containing fire extinguishants.

А.А. ЛЕВТЕРОВ, В.В. ТЮТЮНИК, В.Д. КАЛУГИН

Национальный университет гражданской защиты Украины, Харьков

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА И ПАРАМЕТРОВ ДЕТЕКТОРА ДЛЯ РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОЧАГА ПОЖАРА НА ОБЪЕКТАХ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

На основе результатов сопоставительного анализа существующих способов обнаружения пожаров обоснован выбор наиболее эффективного способа и детектора для создания системы раннего обнаружения очага возгорания различной природы и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектах жизнедеятельности с большим количеством людей и материальных ресурсов. С учетом специфики объектов и параметров быстрого действия различных систем контроля обоснована необходимость применения метода акустической эмиссии для контроля параметров реакции горения на этапах зарождения и развития пожарной опасности.

Обоснование проблемы. В ряду природных и техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС) пожары занимают первое место, принося огромный социальный и материальный ущерб [1 – 11].

Пожар, как явление, является сложным физико-химическим процессом неконтролируемого горения с сильным экзотермическим эффектом. Возникновение и развитие пожаров зависит от большого количества факторов и граничных условий. Поэтому исследование причин пожаров требует системного подхода, направленного на обеспечение пожарной безопасности как локальной территории, так и различного рода потенциально опасных объектов.

Одним из главных средств, обеспечивающих решение задачи обнаружения очага пожара, является наличие эффективных инструментов (системы инструментов) раннего обнаружения очагов возгораний на различных уровнях функционирования природно-техногенно-социальной системы с возможным последующим воздействием на него с помощью инструментов подавления очага пожара.

Анализ последних достижений и публикаций. Обеспечить соответствующую степень пожарной безопасности для природно-техногенно-социальной системы Украины возможно путем создания комплексной системы мониторинга различного рода ЧС с подсистемами раннего выявления очагов возгораний и предупреждения возникновения пожарной опасности на различных уровнях жизнедеятельности [12 – 21].

Структура комплексной системы мониторинга различного рода ЧС в Украине характеризуется четырьмя уровнями – объектовый, городской, региональный и государственный (рис. 1). На каждом уровне система имеет подсистемы мониторинга ЧС, связанные с природной, техногенной и социальной спецификой уровня защиты, и функционирует путем последующей передачи обработанной информации о степени опасности от объектового уровня к государственному с помощью подсистем связи соответствующих уровней и принятия на каждом уровне антикризисных решений.

Подсистема мониторинга ЧС на соответствующем уровне включает (информация представлена на примере подсистемы 1.1 объектового уровня): 1.1.1 – ЧС объектового уровня; 1.1.2 – подсистема контроля предшествующих факторов ЧС объектового уровня; 1.1.3 – центр сбора и обработки фактической информации, прогнозирования ЧС и разработки антикризисных решений объектового уровня; 1.1.4 – банк данных о возникших ЧС объектового уровня; 1.1.5 – подсистема связи объектового уровня; 1.1.6 –

руководство объекта; 1.1.7 – Совет по вопросам безопасности объекта; 1.1.8 – подсистема доведения информации до подразделений реагирования на ЧС объектового уровня и до подразделений охраны правопорядка; 1.1.9 – подсистема жизнеобеспечения объекта.

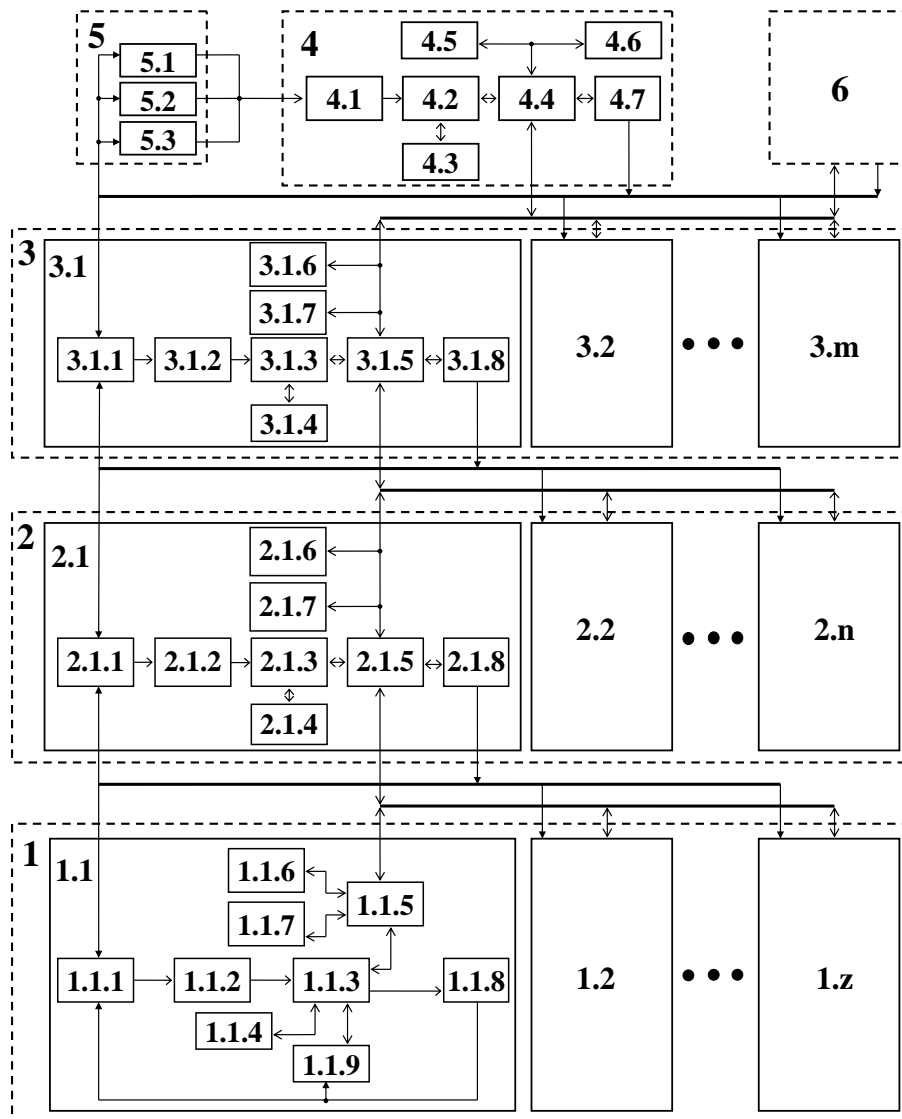


Рис. 1. Комплексная функциональная схема системы мониторинга различного рода чрезвычайных ситуаций: 1 – подсистема объектового уровня; 2 – подсистема городского уровня; 3 – подсистема регионального уровня; 4 – подсистема государственного уровня; 5 – ЧС различного (природного, техногенного, социального и военного) происхождения, возникающие вне государства; 6 – системы мониторинга ЧС государств-членов ООН

На каждом уровне в режимах повседневного функционирования, повышенной готовности и чрезвычайного состояния в системе автоматизировано осуществляется: 1) обработка полученной фактической информации о степени опасности от нижнего уровня и информации от территориальной подсистемы мониторинга ЧС данного уровня; 2) прогноз возможности возникновения ЧС; 3) разработка предложений по предупреждению и ликвидации очагов опасностей на данном и нижнем уровнях, а также необходимости привлечения дополнительных сил и средств предупреждения и ликвидации ЧС на высших уровнях; 4) передача информации на высший уровень, включая государственный.

На государственном уровне функции системы мониторинга ЧС ориентированы на анализ информации, приходящей как с региональных подсистем мониторинга, так и территориальной государственной подсистемы мониторинга ЧС, контролирующей очаги опасностей в околоземном, ближнем и дальнем космосе, в недрах Земли, в других государствах и которые могут составить опасность для территории Украины.

Таким образом, согласно функциональной схеме рис. 1, актуальными являются научные исследования по обеспечению эффективного мониторинга очагов пожарной опасности на различных уровнях жизнедеятельности природно-техногенно-социальной системы Украины. С учетом сказанного, целью наших исследований является развитие научных основ методов раннего обнаружения очагов возгораний и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектовом уровне. Для этого необходимо провести выбор наиболее эффективного способа и параметров детектора с учетом рассмотрения потенциально опасных объектов с массовым пребыванием людей, когда различного рода ЧС могут привести к большим материальным и нематериальным ущербам [22 – 37].

Кроме того, на указанных объектах существуют скрытые (латентные) взаимосвязи между различными факторами жизнедеятельности, указывающие на высокую степень возникновения пожарной опасности. Латентные связи связаны с: а) наличием широкого, в соответствии с данными рис. 2, спектра функционального назначения объектов с массовым пребыванием людей; б) наличием размещенных случайным образом по территории объекта различных по функциональному предназначению и уровню опасности зон, сооружений, помещений и технологического оборудования; в) наличием территориально распределенной системы жизнеобеспечения, включающей разветвленные сети тепло-, водо-, энерго-, газо- и холодоснабжения, а также обеспечения микроклимата; г) наличием территориально распределенной системы связи, включающей разветвленные сети Интернет, Интранет и АТС, а также структурированную кабельную систему, систему единого времени и учрежденческий сервис по вещанию и трансляции информации; д) наличием различной горючей среды и случайных источников возгораний; е) одновременным пребыванием на объекте большого количества людей; ж) возможностью возникновения паники, в соответствии с этим – сложностью эвакуации; и) сложностью организации конструктивных решений и планирования по предупреждению и тушению пожаров.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является развитие, на основе рассмотрения физико-химических основ процесса горения и сравнительного анализа технически уже реализованных физико-химических методов обнаружения источников возгорания по различным факторам опасности, научных представлений о перспективах технической реализации метода обнаружения источников возгораний на этапе их зарождения на объектах жизнедеятельности, основанного на контроле акустических факторов опасности.

В условиях вышеизложенного необходима краткая характеристика составляющих систему горения (пожара) в различных условиях его возникновения и массовой реализации (последующего протекания).

Пожар, согласно [38 – 45], представляет собой химическую реакцию горения, которая сопровождается выделением значительного количества теплоты, дыма и газов, а также излучением света. Процесс горения представляет собой быстро протекающий окислительно-восстановительный процесс, при котором горючее вещество взаимодействует с окислителем и выделяется энергия и продукты разложения (рабочее тело).

Общими закономерностями пожаров, в соответствии с данными рис. 3, являются: 1) горение с выделением тепла и продуктов полного и неполного сгорания; 2) массообмен,

возникающий вследствие образования на пожаре конвекционных газовых потоков, которые обеспечивают поступление свежего воздуха в зону горения, и отвод продуктов горения из неё; 3) тепло, выделяющееся в зоне горения, передается в окружающую среду и частично расходуется на нагрев горючих веществ, строительных конструкций, и т.п. и таким образом делает возможным самостоятельное распространение процесса горения.

Наиболее опасными факторами пожара на объектах с массовым пребыванием людей являются: открытый огонь, искры; повышенная температура окружающей среды и предметов; токсичные продукты горения; дым; пониженная концентрация кислорода в воздухе; падающие части строительных конструкций; опасные факторы взрыва (ударная волна, световое излучение); ядовитые вещества, поступающие в окружающую среду из поврежденного оборудования и горящих полимерных материалов.

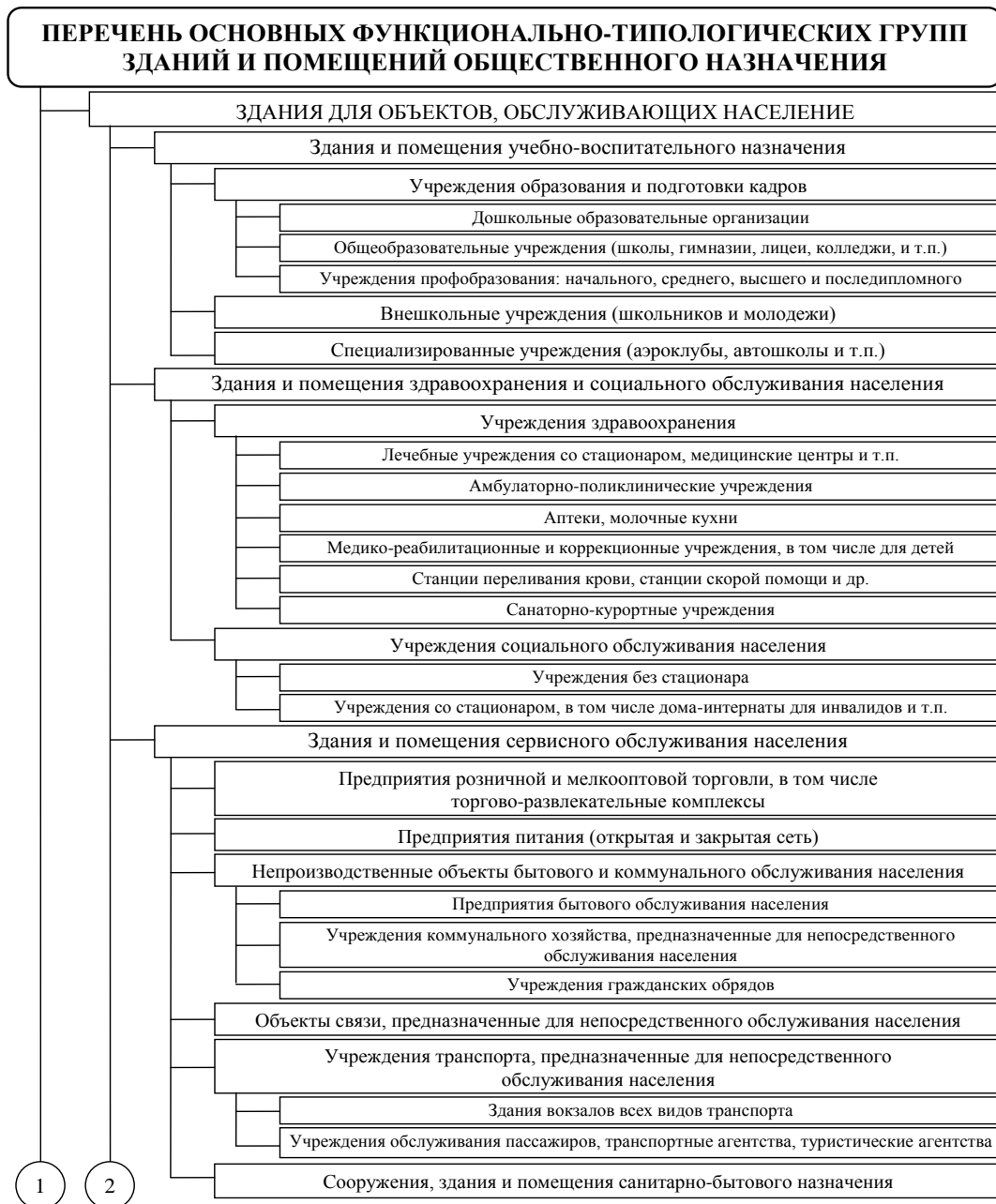
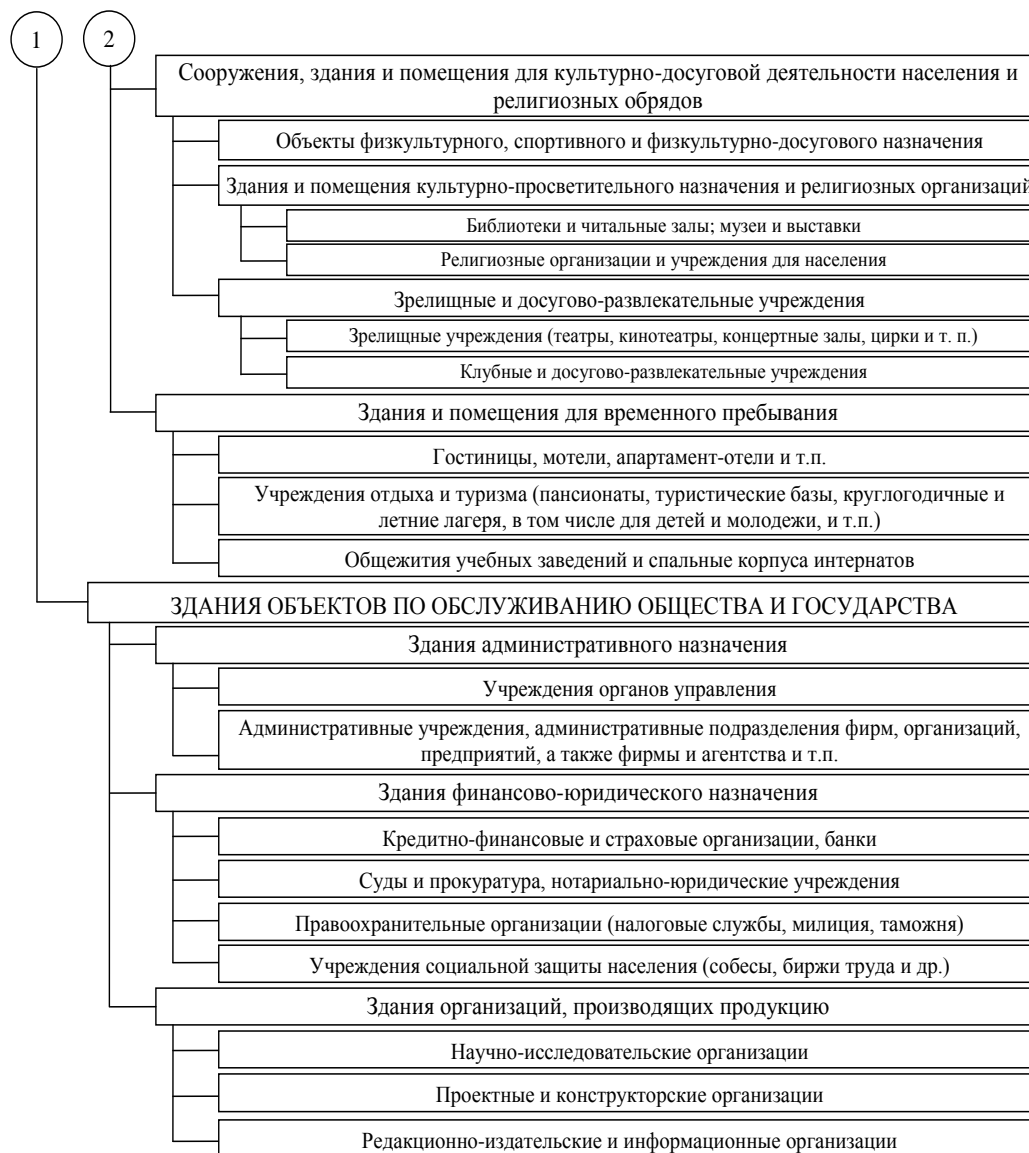


Рис. 2 Перечень основных функционально-типологических групп зданий и помещений общественного назначения, как объектов с массовым пребыванием людей



Продолжение рис. 2

Некоторые дополнения к перечню опасных факторов пожара на объектах с массовым пребыванием людей: 1) повышение температуры воздуха приводит к снижению работоспособности организма человека. Работоспособность резко снижается уже при температурах порядка 35 – 40 °С; 2) повышение влажности воздуха существенно ограничивает предельное время пребывания людей в нем; 3) при температуре более 60 °С, в условиях пожара может наступить потеря сознания. Критической считается температура воздуха в помещении 70 °С; 4) отрицательно влияет на состояние здоровья тепловое излучение от зоны горения на пожаре. Тепловой поток может привести к ожогу незащищенных участков кожи людей или служить источником горения; 5) дым на пожаре содержит в себе токсичные продукты и продукты неполного сгорания, отрицательно влияющие на организм человека. Дым резко снижает видимость, что затрудняет эвакуацию людей и ликвидацию пожара; 6) в процессе горения происходит снижение концентрации кислорода в воздухе. Концентрация кислорода в 15 – 16 % является опасной для жизни человека.

Основой системы раннего обнаружения источников возгорания и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектах с массовым пребыванием людей является классический контур управления, обеспечивающий сбор, обработку и анализ информации, моделирование развития пожароопасной обстановки на объекте управления, представления о котором схематично раскрыты на рис. 4.

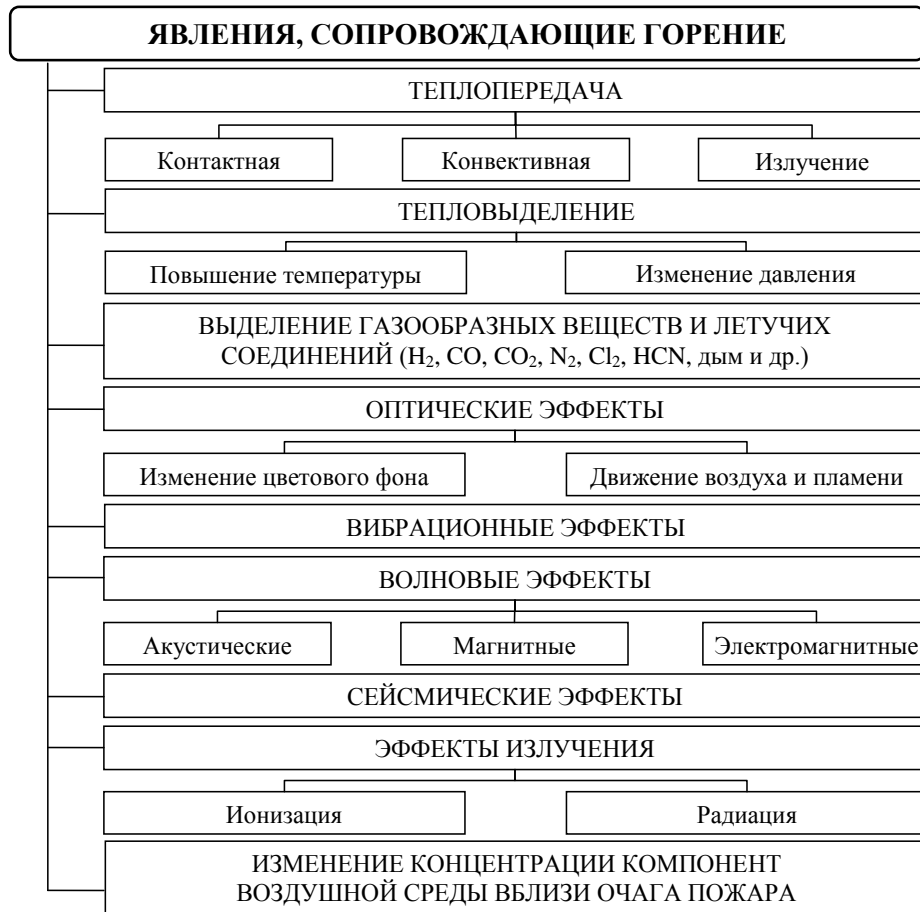


Рис. 3. Классификация основных физико-химических явлений, сопровождающих процесс горения

Краткое описание принципов функционирования схемы рис. 4:

1) Полученная с помощью средств контроля первичная информация о факторах пожарной опасности в различных зонах на объекте с массовым пребыванием людей по кабелям или радиоканалу передается к устройствам второго уровня, предназначенным для обработки полученной информации и представления ее в виде, необходимом для третьего уровня. Обработка полученной информации может производиться как в одном месте, так и в нескольких, в зависимости от мощности конкретной системы мониторинга и размеров контролируемого объекта.

2) Обработанная информация в соответствующем виде поступает на третий уровень, где выполняется ее анализ и систематизация данных; на основе этого делается вывод об уровне опасности объекта с массовым пребыванием людей. Особенно важно для обеспечения быстрого действия системы мониторинга использование автоматизированных средств обработки информации, что значительно ускорит процессы на втором и третьем уровнях системы мониторинга и позволит создать электронные, доступные в реальном масштабе времени, базы данных и знаний.

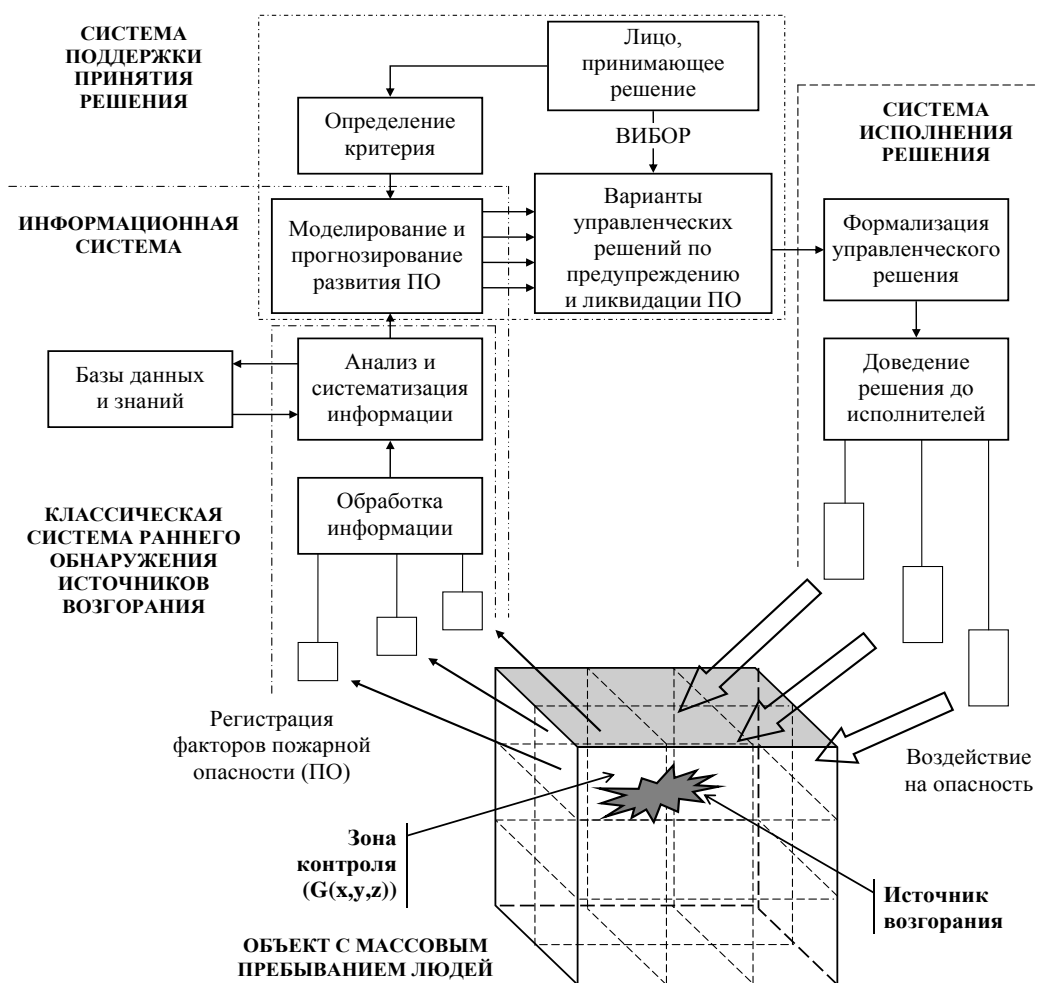


Рис 4. Схема структуры раннего обнаружения источников возгорания и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектах с массовым пребыванием людей как средства управления

3) С использованием соответствующих математических методов на основе полученной информации за относительно непродолжительные периоды времени выполняется моделирование пожароопасной ситуации, прогноз ее развития и уровней опасности, способность отображать прогнозируемую динамику катастрофических событий графически (в том числе, с использованием электронных карт).

4) Второй информационной системой является система поддержки принятия решения. Лицо, принимающее решение, определяет один или несколько критериев, согласно которым осуществляется прогностическое моделирование развития пожароопасной ситуации и разрабатываются варианты управленческих решений, подтвержденные соответствующими расчетами. Из набора вариантов управленческих решений лицо выбирает один или задает еще дополнительные критерии, согласно которым выполняется моделирование и разработка управленческих решений, направленных на недопущение развития опасности до уровня пожара. Если же пожара уже не избежать, то разработка управленческих решений направлена на минимизацию последствий.

5) Утвержденное решение поступает в систему исполнения решения, где выполняется его формализация и доведение до исполнителей. Изменения состояния объекта с массовым пребыванием людей и изменения состояния опасности на нем будут вызывать изменения в величинах измеряемых параметров, фиксируемых устройствами

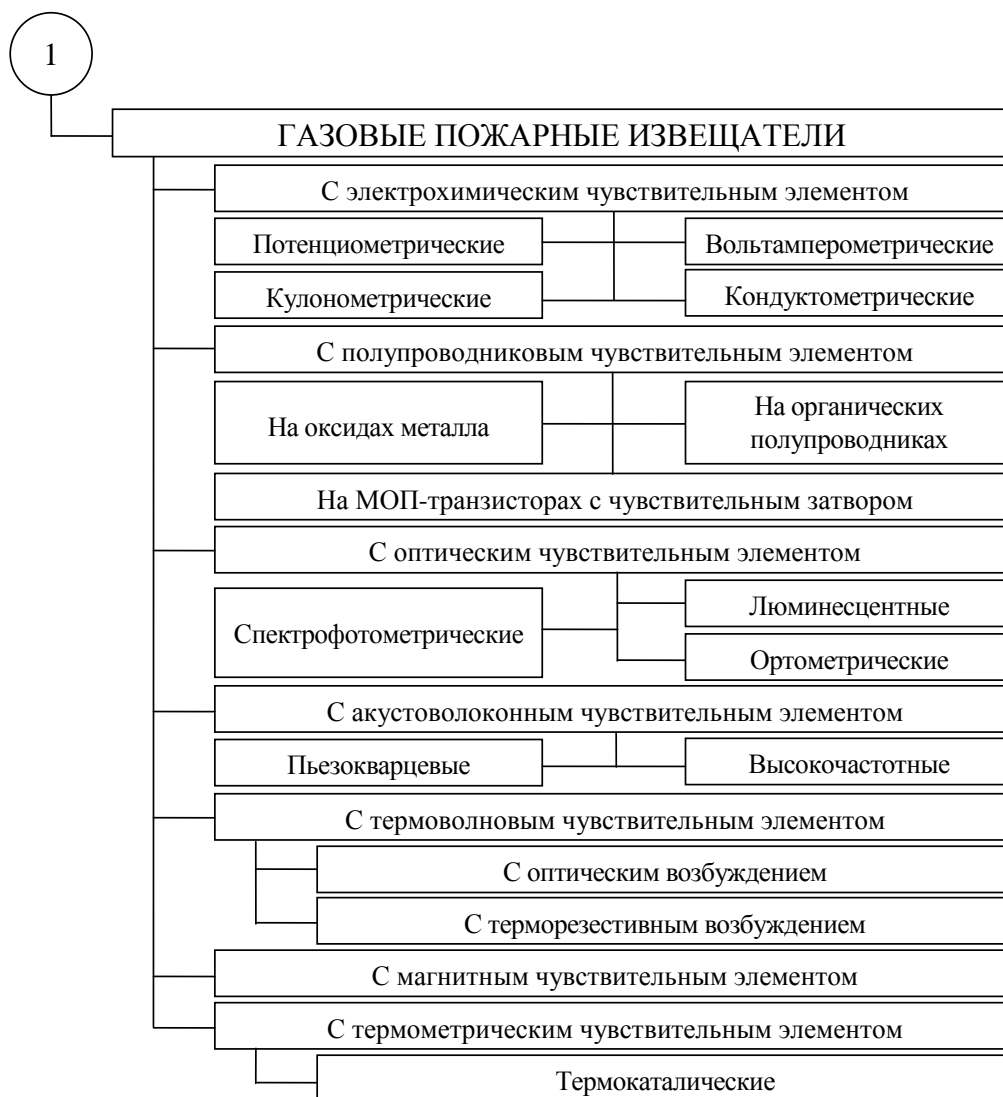
контроля. Дальнейшее моделирование покажет эффективность выполнения управленческого решения – контур управления замкнулся.

Общим принципом работы всех устройств обнаружения возгорания является своевременная регистрация фактора и оценка его физической величины [46 – 53]. Основные факторы, используемые для регистрации очагов возгорания, делят на не связанные с тепломассопереносом и связанные с тепломассопереносом.

На современном этапе развития систем пожарной автоматики в качестве основных контролируемых признаков, в соответствии с данными рис. 3, используются: выделение продуктов горения, скорость турбулентных потоков горячих газов, повышенная температура контролируемого объекта и электромагнитное излучение. Срабатывание существующих автоматических устройств предупреждения возгораний осуществляется при достижении сенсором по контролируемому параметру установленного порогового значения. При этом обнаружение очага возгорания в ранней стадии реализуется посредством анализа тенденции развития сигнала.



Рис. 5. Классификация существующих пожарных извещателей по виду контролируемого признака пожара



Продолжение рис. 5

Существующие чувствительные элементы (датчики) устройств предупреждения возгорания можно классифицировать по принципу работы, по виду определяемого фактора, по типу используемого чувствительного элемента. Так, согласно данным рис. 5, существующие датчики подразделяются на активные и пассивные; тепловые, дымовые, инфракрасные, оптические, фотоэлектрические, акустические, барометрические, ионизационные, сейсмические, пьезоэлектрические, магнитоконтактные, электроконтактные, комбинированные [50 – 74].

Так, наибольшее распространение получили тепловые и дымовые извещатели. Работа теплового извещателя основана на принципе использования тепловых свойств газов, жидкостей, металлов и полупроводников. Эффективность пороговых устройств на основе теплового эффекта относительно низка, поскольку формирует сигнал тревоги только при достижении некоторого установленного порога (температуры срабатывания) в точке его размещения. Минимальное пороговое значение температуры составляет 60°C, что связано с обеспечением достаточного уровня помехозащищенности устройства при эксплуатации в помещениях с условно нормальной температурой около 35°C.

Более эффективными являются тепловые детекторы дифференциального и максимально-дифференциального действия. Данные устройства способны выдавать

тревожное извещение на более ранней стадии развития пожара, что обусловлено регистрацией не порогового значения температуры, а производной во времени процесса повышения температуры контролируемого объема.

Тенденция перехода датчиков тепловых извещателей от простейших электромеханических термочувствительных элементов к электронным термореле с формированием тревожного извещения коротким замыканием линии шлейфа сигнализации приемно-контрольного прибора с одновременной световой индикацией и применения малоинерционных тепловых чувствительных элементов с последующей цифровой обработкой сигнала позволяет интегрально контролировать температуру и скорость ее изменения в среде возгорания.

В устройствах обнаружения очага возгорания с линейной и многоточечной линейной зоной обнаружения, создаваемой специальными чувствительными элементами, используют физические эффекты, позволяющие обнаружить не только локальное, но и (или) среднеобъемное повышение температуры.

Широко используются дымовые извещатели, реагирующие на появление дыма в контролируемой среде. Они обладают относительно высокой чувствительностью к дымам от тления древесины и хлопка, пластмассы и материалов изоляции силовых кабелей. По принципу действия дымовые датчики делятся на ионизационные и оптические.

Ионизационный дымовой извещатель снабжен точечным ионизационным чувствительным элементом, внутри которого размещен радиоактивный источник излучения α – частиц низкой интенсивности. При ионизации молекул воздуха и при наличии электрического поля в дымовой камере обеспечивается поток заряженных частиц. Появление частиц дыма внутри камеры приводит к уменьшению тока, что фиксируется схемой обработки.

Наибольшее распространение получил принцип обнаружения дыма на основе оптического эффекта рассеяния инфракрасного излучения на частицах дыма, где в дымовой камере расположены инфракрасный (ИК) излучатель и приемник, принимающий ИК-сигнал, отраженный от частиц дыма, преобразующих степень освещенности в электрический сигнал об опасности.

Дымовые извещатели все чаще используют принцип принудительного отбора воздуха для обнаружения дыма, так называемые аспирационные дымовые извещатели, где доставка воздуха к чувствительному элементу независима от наличия в защищаемом помещении естественных и принудительных воздушных потоков. Обнаружение очага возгорания такими извещателями является универсальным и может быть использовано для обнаружения пожара не только по дыму, но и по другим факторам, сопровождающим возгорание. Аспирационные извещатели отличает высокая чувствительность, превышающая чувствительность точечных и линейных извещателей.

На основе сказанного, основными направлениями развития современных точечных дымовых датчиков являются: повышение чувствительности извещателя и её изменения из-за запыленности дымовой камеры; применение в качестве источника ИК излучения миниатюрного лазера, повышающего мощность излучения, что позволяет обнаружить сверхнизкую концентрацию частиц дыма в контролируемом пространстве.

Линейные дымовые оптико-электронные пожарные извещатели дополняют возможности точечных и позволяют контролировать помещения, имеющие значительные площади.

Принцип действия химико-аналитических извещательных устройств обнаружения очага возгорания основан на явлении изменения химического состава окружающей воздушной среды на контролируемом объекте. Основным элементом газового датчика является чувствительный элемент, который обеспечивает появление на выходе электрического сигнала, пропорционального концентрации контролируемого газа. Газ

имеет органическое происхождение или являются продуктом термического разложения органического вещества и материала, характерными из них являются угарный газ (CO), диоксид углерода (CO₂), а также водород (H₂), детектируемый газочувствительным сенсором [75 – 84].

Так, перспективным газовым чувствительным элементом для применения в пожарной сигнализации является полупроводниковый сенсор, который регистрирует наличие в воздухе содержание контролируемого газа. При попадании молекул газа на поверхность чувствительного элемента происходит изменение электрической проводимости, что является сигналом к срабатыванию пожарного извещателя.

Электрохимический метод применяется в серийно изготавливаемых датчиках, чувствительных к CO, и основан на использовании теплового эффекта каталитического окисления обнаруживаемого газа. Датчик, за счет повышенной избирательности, обладает относительно высокой помехоустойчивостью. Газовые датчики, в зависимости от способа обнаружения очага возгорания, разделяются на множество классов (электрохимические, полупроводниковые, оптические, термоволновые, магнитные, термометрические) с соответствующими подклассами. Разработка химических сенсоров на основе металлооксидных полупроводников SnO₂, In₂O₃, TiO₂, WO₃, является перспективной задачей для газовых извещателей. Такие сенсоры работают на принципе обратимой хемосорбции активных газов на их поверхности, что обеспечивает быструю обратимость к начальному состоянию измерительного сенсора перед последующим циклом измерения. Данные полупроводники характеризуются высокой чувствительностью к содержанию в атмосфере отравляющих и взрывоопасных газов, а также возможностью управления процессами, происходящими на поверхности и в объёме полупроводника.

Современные газоанализирующие устройства применяются для обнаружения пожара и пожароопасной ситуации, в условиях появления горючего газа или паров легко воспламеняющейся жидкости до взрывоопасной концентрации. Вместе с тем, повышенная помехоустойчивость, в противоречии с высокой обнаруживающей способностью, является основным недостатком газоаналитических датчиков. Поэтому определение баланса между этими противоречивыми свойствами ограничивает технические возможности использования этих устройств.

Технические возможности пожарной сигнализации позволяют значительно расширить технические возможности комбинированных детекторов, сочетающие несколько каналов обнаружения различных факторов пожара. Достоверность обнаружения пожара повышается за счет увеличения числа каналов и их взаимодействия между собой, что позволяет одновременно улучшить характеристики обнаружения и помехоустойчивости. Так, комбинированный детектор включает канал обнаружения пламени, реагирующий на электромагнитное излучение пламени или тлеющий очаг. В связи с тем, что обнаружение пожара этим детектором не связано с тепломассопереносом, как у других видов распространенных датчиков, они априори обладают более высоким быстродействием. Чувствительный элемент извещателя преобразует электромагнитное излучение в электрический сигнал в диапазоне длин волн: инфракрасный, видимый, ультрафиолетый, что соответствует спектру электромагнитного излучения. Для повышения помехозащищенности применяют инфракрасную или ультрафиолетовую части спектра, а также модуляцию светового излучения в низкочастотном диапазоне. Для повышения достоверности обнаружения применяются многодиапазонные датчики, которые реагируют на электромагнитное излучение пламени в двух или более участках спектра электромагнитного излучения [85 – 87].

С развитием средств пожарной автоматики появились технические решения устройства обнаружения пожара, использующие различные видео-эффекты, связанные с появлением дыма, пламени, цветовой гаммы очага пожара, изменением видовой ситуации.

Так, получили распространение видеосистемы, фиксирующие и анализирующие изображения пламени, при этом используется метод обнаружения огня посредством считывания цветовых оттенков потенциальных очагов возгорания, применяя гамму семидесяти цветовых оттенков пламени. При этом видео при наблюдении регистрирует регионы с цветовым спектром, характерным для разной степени развития пламени, отсортировывая при этом ложные посылы [88 – 92].

Таким образом, базируясь на предложенном в [18 – 21] подходе для синтеза системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, в зависимости от вида и свойств технических средств регистрации факторов опасностей, с помощью интегрального и комплексных параметров, определяющих эффективную функциональность системы для достижения соответствующего уровня безопасности жизнедеятельности, по результатам проведенного в работе сравнительного анализа различных типов детекторов, в соответствии с данными рис. 5, пожарных извещателей необходимо констатировать следующее:

Во-первых, в соответствии с установленными областями функционирования технически реализованных различных типов пожарных извещателей в зависимости от времен проявления на объекте контроля приоритетных факторов опасности (см. рис. 6),

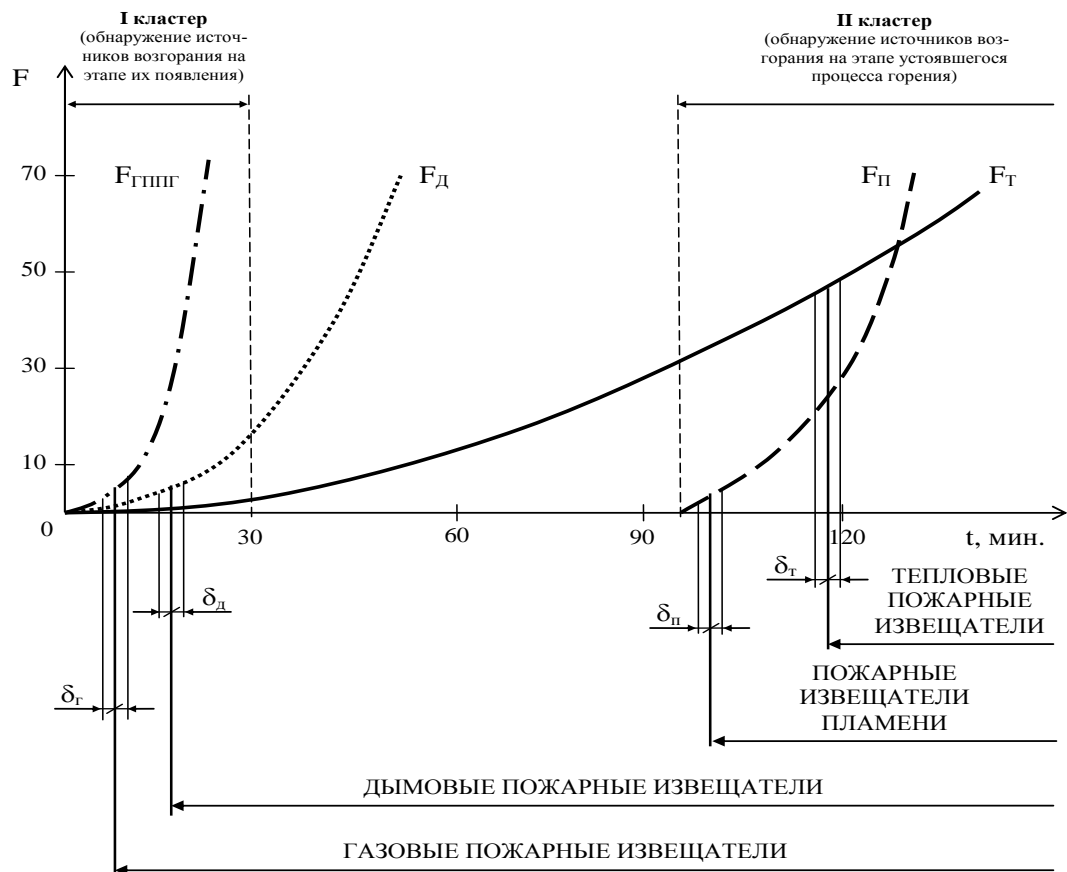


Рис. 6 Графическое представление областей функционирования технически реализованных различных типов пожарных извещателей в зависимости от времен (t) проявления на объекте контроля приоритетных факторов опасности (F) и размеров зон обнаружения (δ) приоритетных факторов опасности ($\delta_{Г}$ – газовый анализ среды, $\delta_{Д}$ – обнаружение дыма, $\delta_{П}$ – анализ пламени, $\delta_{Т}$ – контроль температуры среды), в зависимости от тактико-технических характеристик чувствительных элементов средств обнаружения как комплексного параметра эффективности функционирования системы раннего обнаружения источников возгораний, возможно выделить два кластера.

В первый кластер входят пожарные извещатели, предназначенные для обнаружения источников возгораний на, так называемом, этапе проявления пожарной опасности. Функционирование этих пожарных извещателей основано на принципах обнаружения газоподобных продуктов горения ($F_{ГППГ}$) и дыма ($F_{Д}$).

Размеры и местоположение на временной оси графической зависимости рис. 6 зон обнаружения $\delta_{Г}$ и $\delta_{Д}$ факторов $F_{ГППГ}$ и $F_{Д}$ определяются тактико-техническими характеристиками существующих газовых и дымовых пожарных извещателей. Изменение параметров этих зон в сторону повышения эффективности раннего обнаружения источников возгораний ограничено метрологическими возможностями физико-химических принципов анализа среды возгорания, заложенных в работу чувствительных элементов рассматриваемых пожарных извещателей.

Во второй кластер входят пожарные извещатели для обнаружения источников возгораний на, так называемом, этапе установившегося (стационарного) процесса горения. Функционирование этих пожарных извещателей основано на принципах анализа (контроля) возрастающей температуры ($F_{Т}$) и факела горения ($F_{П}$).

Размеры и местоположение на временной оси графической зависимости рис. 6 зон обнаружения $\delta_{П}$ и $\delta_{Т}$ факторов $F_{Т}$ и $F_{П}$ определяются тактико-техническими характеристиками существующих тепловых пожарных извещателей и пожарных извещателей пламени. Изменение параметров этих зон для повышения эффективности раннего обнаружения источников возгораний также ограничено характеристиками физико-химических принципов анализа среды возгорания, заложенных в работу чувствительных элементов рассматриваемых пожарных извещателей.

Во-вторых, современный этап развития проектирования и строительства объектов с массовым пребыванием людей, особенно выполняющих, в соответствии с приведенной на рис. 2 классификацией, функции сервисного обслуживания населения, направлен на увеличение объемов зданий и помещений этих объектов. В связи с этим возникают дополнительные требования к тактико-техническим характеристикам пожарных извещателей при реализации режима раннего обнаружения источников возгорания, обусловленных ограничением скорости распространения в контролируемом объеме газообразных продуктов пиролиза и частиц дыма в процессе зарождения пожароопасной обстановки. Это обстоятельство свидетельствует о необходимости технической реализации новых физико-технических методов анализа свойств среды возгорания, направленных на практически мгновенный контроль волновых факторов опасности на этапе зарождения и проявления источников возгораний.

Практическая значимость метода контроля волновых факторов подтверждается тем, что уже известны попытки эффективной технической реализации метода контроля упругих волн, вызванных локальной динамической перестройкой внутренней структуры вещества (так называемый процесс акустической эмиссии) для раннего распознавания трещин в металлах и сплавах, для выявления скрытых дефектов на стадии их зарождения, для исследования коррозии металлов под напряжением, изучения кинетики развития трещин в сварных швах, а также для исследования акустических свойств среды возгорания [93 – 100].

В подтверждение последнего представления необходимо особо отметить, что в литературных источниках [101 – 105] описаны положительные результаты о расширении областей использования метода акустической эмиссии, приведены экспериментальные попытки выявить возможности этого метода для исследования химических реакций и физико-химических процессов. Так, для установления акустической эмиссии, сопровождающей процессы в гомогенных средах, были выбраны и исследованы процессы растворения серной кислоты и этилового спирта в воде. В результате растворения

жидкости в жидкости были зафиксированы характерные акустические сигналы и отмечены два принципиальных момента, присущих явлению возникновения акустической эмиссии в физико-химических процессах: а) явление носит универсальный характер; б) импульсный характер акустической эмиссии при химических реакциях и физико-химических процессах свидетельствуют о том, что реакция происходит в небольшом объеме и когерентна во времени в отдельных участках системы, поэтому имеет место коллективное взаимодействие субстратов.

Полученные результаты позволяют нам сделать предположение о перспективах создания акустического пожарного извещателя, в основу функционирования которого заложен принцип анализа свойств акустических колебаний, излучаемых источником возгорания в результате проявления эффекта акустической эмиссии как волнового фактора на этапах проявления и развития пожарной опасности.

Физико-химическая суть возникновения акустической эмиссии при горении заключается в том, что в процессе протекания окислительно-восстановительной реакции возникает целый ряд колебаний, связанных с возникновением и разрушением на молекулярном уровне напряжений в кристаллической решетке материала. При горении же жидкой фазы происходит перемещение масс и образование пузырьков газа, приводящих к колебаниям окружающей среды объекта загорания (кавитационные явления). Чем больше молекул вещества задействовано в процессе протекания реакции, тем интенсивнее горение и мощнее излучаемое звуковое колебание.

В качестве примера на рис. 7

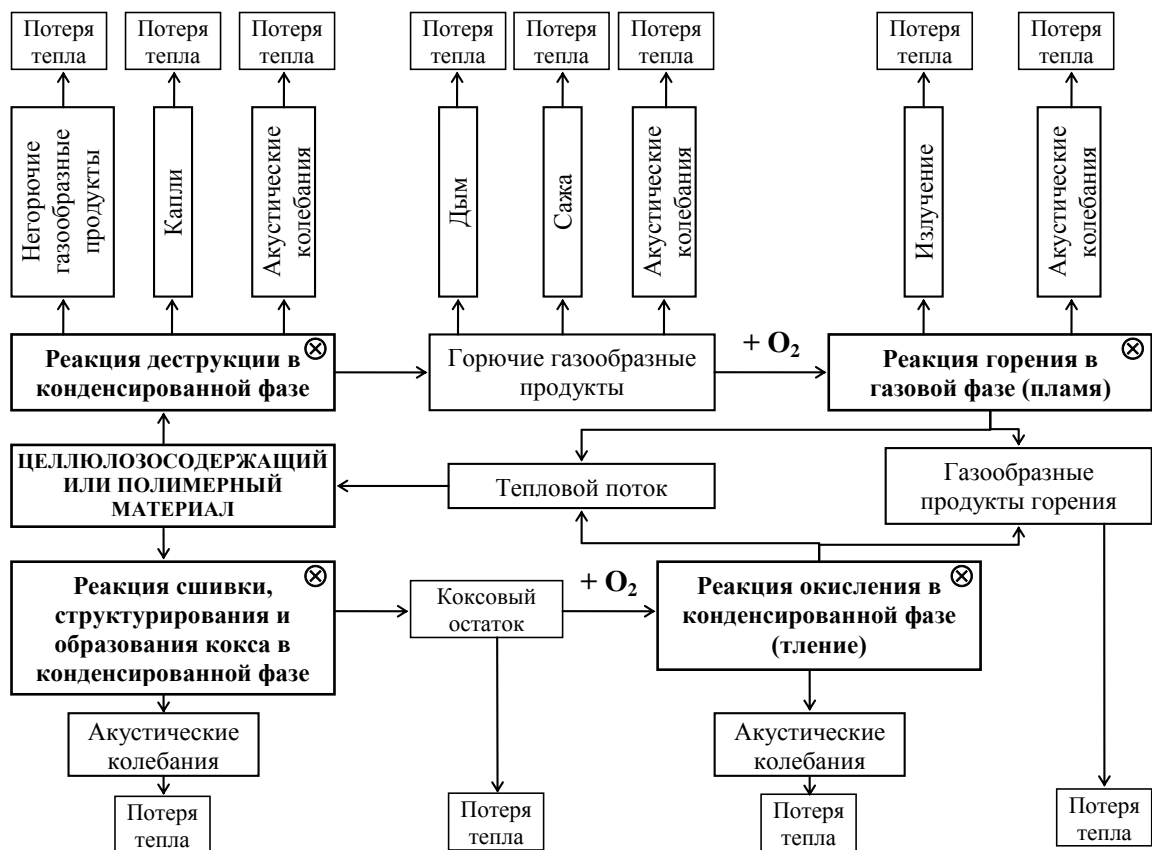


Рис. 7 Схема горения целлюлозосодержащих или полимерных материалов и проявления эффекта акустической эмиссии на стадиях горения. ⊗ – наиболее характерные стадии акустической эмиссии при физико-химических преобразованиях

приведена схема горения полимерных материалов, к которым также относятся и целлюлозосодержащие материалы как наиболее распространенные на объектах с массовым пребыванием людей.

Согласно данным рис. 7, эффект акустической эмиссии имеет место на всех стадиях горения. Так, акустические волны будут излучаться на протяжении всей стадии горения, пока есть деструкция материала и температурный градиент внутри очага горения.

Кроме того, при появлении открытого пламени, когда реакция горения переходит в устойчивую стадию, интенсивность звуковых колебаний резко возрастает. Это обусловлено при горении твердых тел усилением эффектов деструкции и деформации материала. Увеличение интенсивности звуковых колебаний при горении жидкофазных материалов связано с переходом в стадию кипения поверхностного слоя на границе пламени. При этом необходимо отметить, что и само пламя вызывает значительные колебания воздуха за счет неравномерности течения реакции горения. Помимо того, выделение газовых составляющих как при горении твердых, так и жидких веществ, также приводит к локальным колебаниям воздуха в месте выхода газа из объекта загорания.

Таким образом, при рассмотрении волнового характера процессов, сопровождающих горение целлюлозосодержащих или полимерных материалов, прежде всего необходимо констатировать многослойный, сложный по составу и природе характер интегрального акустического спектра, который в различных частотных диапазонах содержит разносторонние частотные фрагменты от различных помех, поэтому измерительный комплекс акустической эмиссии очага возгорания должен иметь спектроанализатор с широким частотным диапазоном (от 10^{-1} до $n \cdot 10^3$ Гц). При наличии анализатора частот интегрального акустического спектра выделяются характеристические для очага горения частотные гармоники и по их характеру оценивается степень вероятности возгорания на объекте с массовым пребыванием людей.

Выводы

1. Показано, что создание комплексной четырехуровневой (с учетом взаимосвязей между объектовым, городским, региональным и государственным уровнями) автоматизированной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, с подсистемами раннего выявления очагов возгораний и предупреждения возникновения пожарной опасности на различных уровнях жизнедеятельности, является необходимым для обеспечения соответствующего уровня безопасности функционирования территории Украины.

2. Сделано заключение, что на объектовом уровне к объектам с повышенным пожарным риском относятся объекты с массовым пребыванием людей, где последствия от возникновения различного рода опасностей могут привести к большим материальным и нематериальным ущербам. Установлено, что на этих объектах существуют латентные взаимосвязи, указывающие на высокую степень проявления пожарной опасности, между различными факторами жизнедеятельности.

3. Показано, что основой системы раннего обнаружения источников возгорания и предупреждения возникновения пожарной опасности на объектах с массовым пребыванием людей является классический контур управления, обеспечивающий сбор, обработку и анализ информации, моделирование развития пожароопасной обстановки на объекте управления.

4. Анализ существующих пожарных извещателей, построенных на различных принципах, позволил констатировать, в соответствии с установленными областями функционирования технически реализованных различных типов пожарных извещателей в зависимости от времен проявления на объекте контроля приоритетных факторов опасности, как комплексного параметра эффективности функционирования системы раннего обнаружения источников возгораний, выделение двух кластеров. В I кластер

входят пожарные извещатели, направленные на обнаружение источников возгораний на этапе проявления пожарной опасности и функционирующих на принципах обнаружения газоподобных продуктов горения и дыма; во II кластер входят пожарные извещатели, обнаруживающие источник возгораний на этапе установившегося процесса горения и функционирующие на принципах анализа возрастания температуры и факела горения.

5. Высказано представление о том, что с увеличением объемов зданий и помещений объектов с массовым пребыванием людей предъявляются дополнительные требования к тактико-техническим характеристикам пожарных извещателей при реализации режима раннего обнаружения источников возгорания, обусловленных ограничением скорости распространения в контролируемом объеме газообразных продуктов пиролиза и частиц дыма (в процессе зарождения пожароопасной обстановки). Это обстоятельство свидетельствует о необходимости технической реализации новых физико-технических методов контроля среды возгорания, направленных на контроль волновых факторов опасности на этапе зарождения источников возгораний. Поэтому нами предлагается контроль очага возгорания проводить по спектрограммам акустических колебаний, генерируемых источником возгорания в результате проявления эффекта акустической эмиссии при протекании окислительно-восстановительной реакции горения различных (твердых, жидких и газообразных) веществ и материалов.

1. Брушлинский Н.Н. Проблема пожаров в мире в начале XXI столетия / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – № 1. – С. 7 – 14.

2. World Fire Statistics. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ctif.org/sites/default/files/ctif_report19_world_fire_statistics_2014.pdf.

3. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dsns.gov.ua/>

4. Азімов О.Т. Огляд поточного стану природно-техногенної безпеки в Україні та перспективи розвитку аналітичної інтерактивної системи моніторингу надзвичайних ситуацій засобами дистанційних, телематичних та ГІС-технологій / О.Т. Азімов, П.А. Коротинський, Ю.Ю. Колесніченко // ГЕОІНФОРМАТИКА – 2006. – № 4. – С. 52 – 66.

5. Андронов В.А. Комплексні показники оцінювання стану природно-техногенної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України / В.А. Андронов, Ю.П. Бабков, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2010. – Вип. 12. – С. 9 – 20. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol12/Andronov.pdf>

6. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Харьков: Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.

7. Тютюник В.В. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2011. – Вип. 14. – С. 171 – 194. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol14/Tyutyunik.pdf>

8. Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 1/6(55). – С. 59 – 70.

9. Тютюник В.В. Оцінка індивідуальної небезпеки населення регіонів України в умовах надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко, О.В. Тютюник // Проблеми надзвичайних ситуацій: зб. наук. праць. – Харків: Університет цивільного захисту

України, 2009. – Вип. 9. – С. 146 – 157. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfEmergencies/vol9/Tyutyunik.pdf>

10. Тютюник В.В. Оцінка динаміки пожежних ризиків регіонів України відповідно до зміни їх економічного стану / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми пожежної безпеки. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2009. – Вип. 26. – С. 154 – 165. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol26/09.pdf>

11. Калугін В.Д. Оцінка рівня пожежної небезпеки території України на основі аналізу енергетичних показників стану життєдіяльності / В.Д. Калугін, В.В. Коврегін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Пожежна безпека. – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2013. – Вип. 22. – С. 99 – 112.

12. Кіроцькі О.Ю. Формування інтегральної системи безпеки – запорука добробуту України / О.Ю. Кіроцькі, О.А. Левтеров, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты. – 2008. – № 6(36). – С. 60 – 63.

13. Грінченко Є.М. Інтегральна система безпеки регіонів України, як складових державної територіально-часової параметричної системи. Принцип комплексної оцінки небезпек / Є.М. Грінченко, О.Ю. Кіроцькі, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2008. – Вип. 7. – С. 58 – 71.

14. Калугін В.Д. Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 9(116). – С. 204 – 216.

15. Дослідження умов раннього моніторингу та попередження надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру: звіт про НДР (№ ДР 0112U002587) / керівник роботи: В.В. Тютюник; виконавці: В.Д. Калугін, Б.Б. Поспелов, Р.І. Шевченко, М.В. Кустов, С.С. Говаленков – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2014. – 266 с.

16. Тютюник В.В. Створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в регіонах України / В.В. Тютюник // Автореф. ... доктора технічних наук за спец. 21.02.03 – Цивільний захист. – Київ: НАН України. ДП «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України». – 2015. – 42 с.

17. Тютюник В.В. Використання енергетичного підходу для оцінки ефективності функціонування комплексної автоматизованої системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій на локальній території / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2016. – Вип. 1(138). – С. 183 – 194.

18. Андронов В.А. Науково-технічні основи синтезу системи моніторингу надзвичайних ситуацій на території України в рамках державної політики в галузі цивільного захисту / В.А. Андронов, М.М. Дівізінюк, О.В. Азаренко, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. – 2016. – Вип. 4(49). – С. 150 – 159.

19. Тютюник В.В. Методологія синтезу системи моніторингу надзвичайних ситуацій за основними характеристиками засобів зв'язку та передачі інформації / В.В. Тютюник, В.Д. Калугін // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – Харків: Академія наук прикладної радіоелектроніки; Харківський національний університет радіоелектроніки, 2016. – Том 15. – № 2. – С. 110 – 115.

20. Андронов В.А. Методологія синтезу системи моніторингу надзвичайних ситуацій за основними характеристиками технічних засобів реєстрації факторів небезпек / В.А. Андронов, В.Д. Калугін, О.А. Левтеров, В.В. Тютюник // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. – Харків: Академія наук прикладної радіоелектроніки; Харківський національний університет радіоелектроніки, 2016. – Том 15. – № 4. – С. 327 – 333.

21. Андронов В.А. Науково-конструкторські основи створення комплексної системи моніторингу надзвичайних ситуацій в Україні / В.А. Андронов, М.М. Дівізінюк, В.Д. Калугін, В.В. Тютюник. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2016. – 319 с.

22. Правила пожежної безпеки в Україні. Затверджено Наказом МВС України від 30.12.2014 за № 1417. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 05 березня 2015 р. за № 252/26697. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>

23. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92**. – Київ: Держбуд України, 2002. – 142 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://kga.gov.ua/files/doc/normy-derjavny-dbn/Mistobuduvannja-Planuvannja-i-zabudova-miskyh-i-silskyh-poselen-DBN-360-92.pdf>

24. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення: ДБН В.2.2-9-2009. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 63 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://old.minregion.gov.ua/attachments/files/bydivnitstvo/tehnichne-regulyuvannya/normuvannja/DBN_V.2.2-9-2009.pdf

25. Будинки і споруди. Підприємства торгівлі: ДБН В.2.2-23:2009. – Київ: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 63 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://old.minregion.gov.ua/attachments/files/bydivnitstvo/tehnichne-regulyuvannya/normuvannja/22_23_2009_UKR.pdf

26. Будинки і споруди. Спортивні та фізкультурно-оздоровчі споруди: ДБН В.2.2-13:2003. – Київ: Державний комітет України з будівництва та архітектури, 2004. – 105 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<http://www.klimatvdomi.com/pdf/2.2.13.2003.pdf>

27. Пожежна безпека об'єктів будівництва: ДБН В.1.1-7:2002. – Київ: Держбуд України, 2003. – 87 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://eurobud.ua/uploads/files/pinoplast_norm_doc/6%20DBN.V.1.1.7-2002.pdf

28. Михайлик О.П. Ідентифікація об'єктів підвищеної небезпеки / О.П. Михайлюк, В.В. Олійник, А.О. Михайлик. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2007. – 190 с.

29. Міллер О.В. Нормативно-правова невідповідність пожежної безпеки на об'єктах з масовим перебуванням людей / О.В. Міллер, А.І. Харчук, Ю.Є. Шелюх // Пожежна безпека. – Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2013. – Вип. 23. – С. 121 – 124.

30. Забезпечення пожежної та техногенної безпеки місць з масовим перебуванням людей під особливою увагою Уряду. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://www.kmu.gov.ua/control/uk/publish/article?art_id=246039168&cat_id=248446167

31. Україна отримала 40 млн грн збитків через пожежі на об'єктах з масовим перебуванням людей за I півріччя 2011 р. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

<https://www.rbc.ua/ukr/news/ukraina-poluchila-40-mln-grn-ubytkov-iz-za-pozharov-na-obektah-27072011142400>

32. Пожежна безпека на об'єктах з масовим перебуванням людей. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://korosten-rda.gov.ua/catalog_252_4171_2.html
33. Нові правила пожежної безпеки для об'єктів площею до 300 кв.м. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://juryst-lviv.blogspot.com/2012/04/300.html>
34. СБУ екстренно готується к терактам. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.pravda.com.ua/rus/news/2014/02/9/7013242/>
35. Об'єкти з масовим перебуванням людей перевіряють на предмет пожежної безпеки. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://hotelcentr.com/node/1058>
36. В Україні перевірили пожежну безпеку об'єктів масового перебування людей. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ntn.ua/uk/video/news/2011/07/28/4688>
37. По всій Україні буде проведено аналіз стану пожежної безпеки культурно-розважальних закладів. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://reporter.pl.ua/novini/sytuatsija/10104-po-vsij-ukrayini-bude-provedeno-analiz-stanu-pozhezhnoyi-bezpeky-kulturno-rozvezhalnyh-zakladiv>
38. Абдурагимов И.М. Физико-химические основы развития и тушения пожаров / И.М. Абдурагимов, В.Ю. Говоров, В.Е. Макаров. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1980. – 255 с.
39. Померанцев В.В. Основы практической теории горения / В.В. Померанцев. – Л.: Энергоатомиздат, 1986. – 312 с.
40. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник. Книга 1 – 2. Под ред. Баратова А.Н. и Корольченка А.Я. – М.: Химия, 1990. – 495 с. + 384 с.
41. Киселев Я.С. Физические модели горения в системе предупреждение пожаров / Я.С. Киселев. – С.-П.: СПУ МВД России, 2000. – 264 с.
42. Єлагін Г.І. Основи теорії розвитку і припинення горіння / Г.І. Єлагін, М.Г. Шкарабура, М.А. Кришталь, О.М. Тищенко. – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки, 2001. – 448 с.
43. Тарахно О.В. Теоретичні основи пожежовибухонебезпеки / О.В. Тарахно. – Харків: Академія цивільного захисту України, 2006. – 395 с.
44. Корольченко А.Я. Процессы горения и взрыва / А.Я. Корольченко. – М.: Пожнаука, 2007. – 266 с.
45. Кусковець С.Л. Основи теорії горіння та вибуху / С.Л. Кусковець, О.С. Шаталов, В.О. Турченко. – Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування, 2012. – 374 с.
46. Системи протипожежного захисту: ДБН В.2.5-56:2014. – Київ: Мінрегіон України, 2015. – 133 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://old.minregion.gov.ua/attachments/files/bydivnitstvo/tehnichne-regulyuvannya/normuvannja/2015/DBN%20V.2.5-56_2014%20sistemi%20protipogegnoho%20zahistu.pdf
47. Системи пожежної сигналізації та оповіщення: ДСТУ ISO 7240-1:2007. – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 27 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://specteh.dn.ua/images/stories/normativnye_dokumenty/27_dstu_iso_7240-1-2007_sistemi_pozhezhno_signalzac_ta_opovishuvannja.pdf
48. Пожежна автоматика будинків і споруд: ДБН В.2.5-13-98*. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 81 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://listech.ua/sites/default/files/doc/Pozhezhna_automatika_budink_DBN_V2.5-13-98.pdf
49. Иванов Е.Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты / Е.Н. Иванов. – М.: Химия, 1990. – 384 с.
50. Христич В.В. Системи пожежної та охоронної сигналізації / В.В. Христич, О.А. Дерев'янка, С.М. Бондаренко, О.А. Антошків. – Харків: Академія пожежної безпеки України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://univer.nuczu.edu.ua/tmp_metod/297/Signal.pdf

51. Автоматизовані системи управління та зв'язок у сфері цивільного захисту: Навчальний посібник / І.А. Чуб, В.Є. Пустоваров, Г.Е. Винокуров, П.М. Бортничук, Л.А. Клименко; за заг. ред. Г.В. Щербака. – Харків: Академія цивільного захисту України, 2005. – 272 с
52. Дерев'янку А.А. Применение и эксплуатация приборов пожарной автоматики / А.А. Дерев'янку, А.А. Антошкин, С.Н. Бондаренко, В.А. Дуреев, М.Н. Мурин. – Харьков: Университет гражданской защиты Украины, 2007. – 205 с.
53. Дерев'янку О.А. Автоматичний протипожежний захист об'єктів / О.А. Дерев'янку, В.В. Христин, С.М. Бондаренко, М.М. Мурин, О.А. Антошків. – Харків: Національний університет цивільного захисту України, 2014. – 282 с.
54. Членов А.Н. Автоматические пожарные извещатели / А.Н. Членов. – М.: НИЦ «Охрана» ВНИИПО МВД России, 1997. – 51 с.
55. Извещатели пожарные дымовые оптико-электронные линейные. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 82-99. – М., 1999. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294847/4294847692.pdf>
56. Извещатели пожарные дымовые радиоизотопные. Общие технические требования. Методы испытаний: НПБ 81-99. – М., 2000. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/7/7693/index.php
57. Извещатели пожарные тепловые. Технические требования пожарной безопасности. Методы испытаний: НПБ 85-2000. – М., 2001. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://www.ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/8/8923/
58. Мотин Л.А. Автоматизированные и роботизированные комплексы для противопожарной защиты объектов / Л.А. Мотин, Г.В. Шахманский // Экол. системы и приборы. – 2001. – № 2. – С. 46–51.
59. Соколов В.С. Системы пожарной сигнализации и автоматики. Боевая эффективность. Соотношения цена/качество / В.С. Соколов // Системы безопасности – 2001. – № 41 (октябрь-ноябрь). – С. 54–58.
60. Моисеев И.Ф. Рынок противопожарного оборудования. Взгляд изнутри / И.Ф. Моисеев // Системы безопасности – 2001. – № 41 (октябрь-ноябрь). – С. 71.
61. Системы пожарной сигнализации. Часть 5. Извещатели пожарные тепловые точечные: ДСТУ EN 54-5: 2003. – Київ: Держспоживстандарт України, 2004. – 42 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://specteh.dn.ua/images/stories/normativnye_dokumenty/19_dstu_en_54-5-2003_sistemi_pozhezhno_signalzac.pdf
62. Членов А.Н. Современные тепловые пожарные извещатели: основные характеристики и особенности применения / А.Н. Членов // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций. – 2004. – № 1. – С. 43 – 44.
63. Членов А.Н. Анализ тенденций развития технических средств пожарной сигнализации / А.Н. Членов, М.В. Землянухин, А.В. Родионов // Системы безопасности – 2004: материалы XIII науч.-техн. конф. – Москва, 2004. – С. 220–223.
64. Edmans M. Guide to Intelligent Fire Systems. System Sensor Europe, 2004. – 34 p.
65. Батанов М. Эволюция систем пожарной сигнализации / М. Батанов, К. Буковщиков // Безопасность, достоверность, информация, 2005. – № 4(61). – С. 44–47.
66. Пивинская И. Пожарные извещатели: задачи и оценка выбора / И. Пивинская // Безопасность, достоверность, информация. – 2005. – № 4(61). – С. 36–42.
67. Офіційний каталог XV Міжнародного виставкового форуму «Технології захисту / ПОЖТЕХ – 2016». – Київ: ТОВ «Міжнародний виставковий центр», 2016. – 110 с.

68. Каталог пожарная безопасность. Оборудование, проектирование, монтаж. – Киев, 2000. – 128 с.
69. Интернет-портал журнала F+S. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.security-info.com.ua/magazine/>
70. Интернет-портал «Украинский ресурс по безопасности». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kiev-security.org.ua/>
71. Интернет-портал группы компаний «Секур». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://secur.ua/about-us/>
72. Интернет-портал компании «ОПТА». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://opta.ua/>
73. Тютюник В.В. Формування критерію «ефективність – інтегральна ціна» як основи принципу комплектування технічними засобами інтегральної системи безпеки / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: Академия гражданской защиты Украины, 2008. – Вып. 23. – С. 202–216.
74. Тютюник В.В. Використання критерію «ефективність – інтегральна ціна» при виборі та удосконаленні елементів системи пожежогасіння / В.В. Тютюник, О.А. Левтеров, Р.І. Шевченко // Проблемы пожарной безопасности. – Харків: Університет цивільного захисту України, 2008. – Вып. 24. – С. 215–223. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nuczu.edu.ua/sciencearchive/ProblemsOfFireSafety/vol24/tutunik.pdf>
75. Кириленко В. Обнаружение очагов зарождения пожаров / В. Кириленко // Охрана труда. – 1996. – № 10. – С. 32 – 34.
76. Бубнов Ю.З. Полупроводниковые газовые микросенсоры / Бубнов Ю.З. // Петербургский журнал электроники. – 1996. – № 3. – С. 87 – 91.
77. Тютюник В.В. Молекулярно-оптический мониторинг среды возгорания. Анализ газов и проблемы пожарной безопасности / В.В. Тютюник // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: Харьковский институт пожарной безопасности МВД Украины, 1999. – Вып. 5. – С. 196 –203.
78. Антоненко В. Раннее обнаружение пожара: полупроводниковые газовые сенсоры / В. Антоненко, А. Васильев, И. Олихов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2001. – №4. – С. 48 – 51.
79. Напівпровідникові сенсори: теорія, конструкція, застосування / П.Ф. Буданов, Ю.Г. Даник, О.Ю. Заславська, В.Д. Калугін, В.І. Карпенко; за ред. Ю.Г. Даника. – Харків: Національний університет внутрішніх справ, 2001. – 252 с.
80. Щербакова Е. Газовые пожарные извещатели: продукция фирмы «ФЕКС» / Е. Щербакова, А. Кудрин, А. Соколов // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. – 2007. – № 2. – С. 110 – 111.
81. Фёдоров А.В. Системы и технические средства раннего обнаружения пожара / А.В. Фёдоров, А.Н. Членов, А.А. Лукьянченко, Т.А. Буцынская, Ф.В. Демёхин.– М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 160 с.
82. Калугин В.Д. Газовые пожарные извещатели с полупроводниковыми датчиками: теория, технология, применение / В.Д. Калугин, А.В. Прусский, А.Ю. Войтов, Е.В. Быкова, С.А. Еременко. – Киев: ИГУГЗ НУЦЗ Украины, 2011. – 195 с.
83. Прусский А.В. Математическая модель газового пожарного извещателя с полупроводниковым датчиком спиралевидного типа / А.В. Прусский, В.Д. Калугин, А.Ю. Войтов // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2012. – Вип. 3(2). - С. 248 – 252.

84. Прусский А.В. Исследование чувствительности газового пожарного извещателя с полупроводниковым датчиком спиралевидного типа в динамическом режиме пиролиза целлюлозосодержащих материалов (древесина, бумага) / А.В. Прусский // Системи обробки інформації. – Харків: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 5. – С. 175 – 179.
85. Членов А.Н. Автоматические пороговые комбинированные пожарные извещатели / А.Н. Членов, М.В. Землянухин // Системы безопасности, № 5(59), октябрь-ноябрь. – М.: Гротек, 2004. – С. 36 – 40.
86. Буцынская Т.А. Принцип построения комбинированного пожарного извещателя / Т.А. Буцынская, М.В. Землянухин // Вестник Академии Государственной противопожарной службы МЧС России. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – № 2. – С. 145 – 149.
87. Оптический/тепловой комбинированный пожарный извещатель SA 5000-700. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
http://www.apollorussia.ru/media/4197117/pp2516r-soteria-o_h-multisensor-detector-issue-2_locked.pdf
88. Wen-Bing Horng. A Fast Image-Based Fire Flame Detection Method Using Color Analysis / Wen-Bing Horng, Jian-Wen Peng Tamkang // Journal of Science and Engineering. – 2008. – Vol. 11. – № 3. – P. 273 – 285.
89. Yasmin R. Detection of Smoke Propagation Direction Using Color Video Sequences / R. Yasmin // International Journal of Soft Computing. – 2009. – № 4(1). – P. 45 – 48.
90. Chen-Yu Lee. Smoke Detection Using Spatial and Temporal Analyses / Chen-Yu Lee, Chin-Teng Lin, Chao-Ting Hong, Miin-Tsair Su // International Journal of Innovation Computing, Information and Control. – 2012. – Vol. 8. – № 7(A). – P. 4749 – 4770.
91. Omair Ghorri. Video Based Ambient Smoke Detection By Detecting Directional Contrast Decrease Analyses / Omair Ghorri, Anton Stadler, Stefan Wilk, Wolfgang Effelsberg // International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering. – 2016. – Vol. 10. – № 9. – P. 1584 – 1589.
92. Rohini Jadhav. A Methodological Survey for Fire Detection in Camera Surveillance / Rohini Jadhav, P.D. Lambhate // International Journal of Science and Research. – 2016. – Vol. 5. – Issue 1. – P. 215 – 217.
93. Грешников В.А. Акустическая эмиссия / В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 276 с.
94. Eitzen D.G. Acoustic Emission: Establishing the Fundamentals / D.G. Eitzen, H.N.G. Wadley // JOURNAL OF RESEARCH of the National Bureau of Standards. – 1984. – Vol. 89. – № 1. – January-February. – P. 75 – 100.
95. Grosshandler W.L. Acoustic Emission of Structural Materials Exposed to Open Flames / W.L. Grosshandler, M. Jackson // Fire Safety Journal. – 1994. – Vol. 22. – P. 209 – 228.
96. Членов А.Н. Ультразвуковые охранные и охранно-пожарные извещатели для закрытых помещений / А.Н. Членов // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций, март-апрель, – М., 1999. – С. 25 – 27.
97. Пузач С.В. Обоснование возможности раннего обнаружения возгорания в помещениях с помощью датчиков давления / Пузач С.В., Поляков Ю.А. // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1999. – Вып. 3. – С. 53 – 56.
98. Асминг В.Э. Анализ инфразвуковых сигналов, генерируемых техногенными источниками / В.Э. Асминг, З.А. Евтюгина, Ю.А. Виноградов, А.В. Федоров // Вестник МГТУ. – 2009. – т. 12. – № 2. – С. 300 – 307.
99. Климчук Е.Г. Акустическая диагностика процессов «твердофазного горения» смесей органических кристаллов / Е.Г. Климчук, А.Л. Парахонский // Ученые записки физического факультета. – 2014. – № 6. – С. 146322-1 – 146322-5.

100. Беликов В.Т. Использование результатов наблюдений акустической эмиссии для изучения структурных характеристик твердого тела / В.Т. Беликов, Д.Г. Рывкин // Акустический журнал. – 2015. – т. 61. – № 5. – С. 622 – 630.

101. Смирнов А.Н. Генерация акустических колебаний в химических реакциях и физико-химических процессах / А.Н. Смирнов // Российский химический журнал. – 2001. – т. XLV. – № 1. – С. 29 – 34.

102. Роменский А.В. Ультразвук в гетерогенном катализе / А.В. Роменский, В.В. Казаков, Г.И. Гринь, А.П. Кунченко, И.В. Волохов, А.Я. Лобойко. – Северодонецк: Северодонецкая городская типография, 2006. – 289 с.

103. Кузнецов Д.М. Акустическая эмиссия при фазовых превращениях в водной среде / Д.М. Кузнецов, А.Н. Смирнов, А.В. Сыроешкин // Российский химический журнал. – 2008. – т. LII. – № 1. – С. 114 – 121.

104. Дорофеев Б.М. Влияние статического давления на звуковые импульсы, генерируемые пузырьками пара при насыщенном кипении / Б.М. Дорофеев, В.И. Волкова // Акустический журнал. – 2011. – т. 57. – № 6. – С. 778 – 785.

105. Фадеев Г.Н. Акустическая резонансная частота химических реакций / Г.Н. Фадеев, В.С. Болдырев, Н.Н. Кузнецов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 6. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://engjournal.ru/catalog/fundamentals/chem/787.html>

О.А. Левтеров, В.В. Тютюник, В.Д. Калугін

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЕФЕКТИВНОГО СПОСОБУ ТА ПАРАМЕТРІВ ДЕТЕКТОРУ ДЛЯ РАНЬОГО ВИЯВЛЕННЯ ОСЕРЕДКУ ПОЖЕЖІ НА ОБ'ЄКТАХ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

На основі результатів порівняльного аналізу існуючих способів виявлення пожеж обґрунтовано вибір найбільш ефективного способу та детектору для створення системи раннього виявлення осередку загоряння різної природи та попередження виникнення пожежної небезпеки на об'єктах життєдіяльності з великою кількістю людей та матеріальних ресурсів. З урахуванням специфіки об'єктів та параметрів швидкодії різних систем контролю обґрунтована необхідність застосування методу акустичної емисії для контролю параметрів реакції горіння на етапах зародження та розвитку пожежної небезпеки.

A.A. Levterov, V.V. Tiutiunyk, V.D. Kalugin

JUSTIFICATION OF THE EFFICIENT CHOICE METHOD AND PARAMETERS OF THE DETECTOR FOR EARLY FINDINGS OF THE FIRE SEAT ON OBJECTS OF ACTIVITY

The choice of the most efficient method and the detector for creation of early system detection center of various inflammation nature and the emergence fire hazard prevention on objects of activity with a many people and the material resources on the basis results of the comparative analysis of the existing detection method of the fires has been validated. Taking into account specifics of objects and speed of operation parameters various control systems need of application of an acoustic emission method for combustion reaction monitoring parameters at stages of origin and development of a fire hazard has been proved.

І.І. НАЗАРЕНКО¹, С.М. ШАЛЯПІН², Т.С. ШАЛЯПІНА², В.В. ЛИТВИНЕНКО³

¹Київський національний будівельний університет

²ТОВ «Харківська інженерна компанія»

³Інститут електрофізики і радіаційних технологій НАН України

МОБІЛЬНА ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВА УСТАНОВКА ОЧИЩЕННЯ СТОКІВ ЗВАЛИЩ ПРОМИСЛОВИХ І ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ВІД ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ ОЗОНУ ТА УЛЬТРАФІОЛЕТОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Розглядається технологія деструкції та знешкодження молекулярних сполук шляхом комплексного впливу ультрафіолетового випромінювання та озону. Запропоновано обґрунтування доцільності застосування двох факторів впливу. Наведено опис установки та технологічного процесу для проведення обробки. Наведено результати апробації роботи установки на прикладі деструкції модельних розчинів, що містять типові токсичні сполуки.

Вступ

Однією з найбільш актуальних завдань, пов'язаних з охороною навколишнього середовища, є проблема знешкодження токсичних стічних вод, що утворюються в процесі життєдіяльності людини, наприклад, стічні води різних звалищ, полігонів побутових та промислових відходів, стічні води підприємств хімічної і фармацевтичної промисловості та інші. Як правило, такі стічні води містять велику кількість токсичних органічних речовин, отрутохімікатів, пестицидів, фенолів та ін., які не тільки забруднюють навколишнє середовище, а й шкідливо впливають на здоров'я людини. Також велику загрозу для здоров'я людини несуть техногенні аварії, що супроводжуються залповим забрудненням джерел питної води високотоксичними сполуками (наприклад, проблема, пов'язана із забрудненням питної води в містах і населених пунктах). Не слід також забувати про можливість терористичних актів, які можуть призвести до отруєння джерел питної води токсичними речовинами або патогенними мікроорганізмами.

Потенційними забруднювачами навколишнього середовища можуть бути:

- хлорвуглеводні (ДДТ, гексахлорциклогексан, мірекс, ендосульфат і т.д.);
- фосфорорганічні сполуки (такі як дихлофос, карбофос, хлорофос);
- синтетичні піретроїди (перметін, циперметін, децис);
- похідні карбамінової кислоти (карбаріл, карбофуран, кронетон, альдікарб);
- похідні сечовини (хлорсульфурон, хлорімурон тіасульфурон та інші).

Їх небезпека полягає в можливості накопичення в об'єктах живої природи; великому періоді напіврозпаду; метаболізмі і потенційно можливими екологічними катастрофами (людський фактор), які пов'язані з умовами зберігання і використання.

Ефективна робота очисних споруд по очищенню від токсичних забруднень стічних вод звалищ, полігонів побутових та промислових відходів, підприємств хімічної і фармацевтичної промисловості є важливим завданням. Тому на сьогоднішній день одним із головних завдань, які стоять перед розробками сучасних технологій очищення стічних вод, є завдання, пов'язане з розробкою ефективних і недорогих методів знешкодження токсичних стічних вод.

Обґрунтування постановки задачі.

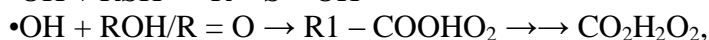
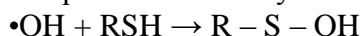
Метою проведених досліджень є розробка ефективного методу окисної деструкції високотоксичних з'єднань і дезінфекції стічної води і повітря від патогенних мікроорганізмів, заснованого на застосуванні спільного впливу озону і інтенсивного

ультрафіолетового опромінення. Підставою для очікування на одержання позитивних результатів є розроблена в роботі [1] концепція синергетичної дії факторів опромінювання та факторів середовища, в якому відбувається опромінення, на радіаційно-стимульований вихід. Мультиплікативний ефект від одночасного впливу квантів ультрафіолетового випромінювання та окислювальної дії озону на деструкцію молекулярних сполук полягає в дії кількох механізмів. Так, поглинаючи квант низькоенергетичного випромінювання молекула підвищує власну реакційну здатність. Якщо реакція деструкції відбувається за ланцюжковим механізмом, саме випромінювання може стати ініціатором зародження первинних радикалів. Іншою складовою є необхідність каталітичного підсилення процесу окислення та подальшої деструкції. Слід зазначити, що застосування джерел ультрафіолетового випромінювання з широким спектром від 200 до 300 нм має сприятливо відобразитись на перебігу необхідних нам процесів, оскільки, не знаючи точно спектрів поглинання молекул, ми забезпечуємо варіабельність впливу за рахунок широкополосності впливу. Наявність молекулярного кисню, особливо озону, спричиняє утворення синглетно-триплетних збуджених станів, що також може сприяти інтенсифікації процесів деструкції молекул.

Методика експерименту та обговорення результатів.

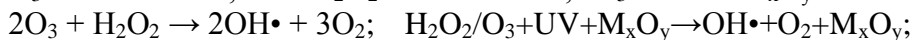
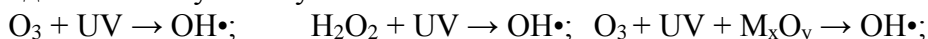
Озон є сильним і екологічно безпечним окиснювачем, який ефективно руйнує токсичні речовини, які знаходяться в стічних водах, здійснюючи при цьому їх знезараження. Досвід застосування озону для очищення господарчо-побутових та промислових стоків показав, що озон ефективно розкладає більшість токсичних органічних речовин. А у сукупності з ультрафіолетовим опромінюванням ефективність руйнуючої дії озону значно збільшується. На цьому принципі засновано відносно новий напрямок очищення рідких токсичних речовин, який має назву методу активного окислення - ADVANCED OXIDATION PROCESSES (AOP). В основі цього методу закладено принцип з'єднання хімічних і фізичних методів окислювального процесу, що значно підвищує ефективність знешкодження розчинених токсичних речовин, які знаходяться в стічних водах і забезпечують високу ефективність знезараження стоків [2]. Накопичений в різних країнах досвід досліджень процесів очищення стічних вод від складних органічних забруднень показує, що до найбільш перспективних методів їх очищення від токсичних речовин відноситься деструкція, заснована на використанні в якості окиснювача озону, а в якості каталізатора – ультрафіолетового випромінювання. Застосування ультрафіолетового випромінювання спільно з озонуванням дозволяє не тільки істотно знизити концентрацію озону, необхідну для розкладання органічної речовини, а й істотно підвищити глибину його розкладання.

Суть методу активного фотохімічного окислення (Advanced Oxidation Process) можна коротко записати у вигляді:



де R – органічний компонент.

Основним окиснювачем при використанні активного окислення виступають гідроксильні радикали, які утворюються у стоках за рахунок процесу фотолітичного розкладання молекул озону:



де UV – ультрафіолетове випромінювання; M_xO_y – каталізатор.

Радикали, які утворюються в результаті фотолітичного окиснювання мають значно вищий окиснювальний потенціал (2,6 В), що у (1,25) раз більше окиснювального потенціалу озону (2,07 В) та перевищує окиснювальний потенціал хлору (1,36 В) у (1,91) раз [2].

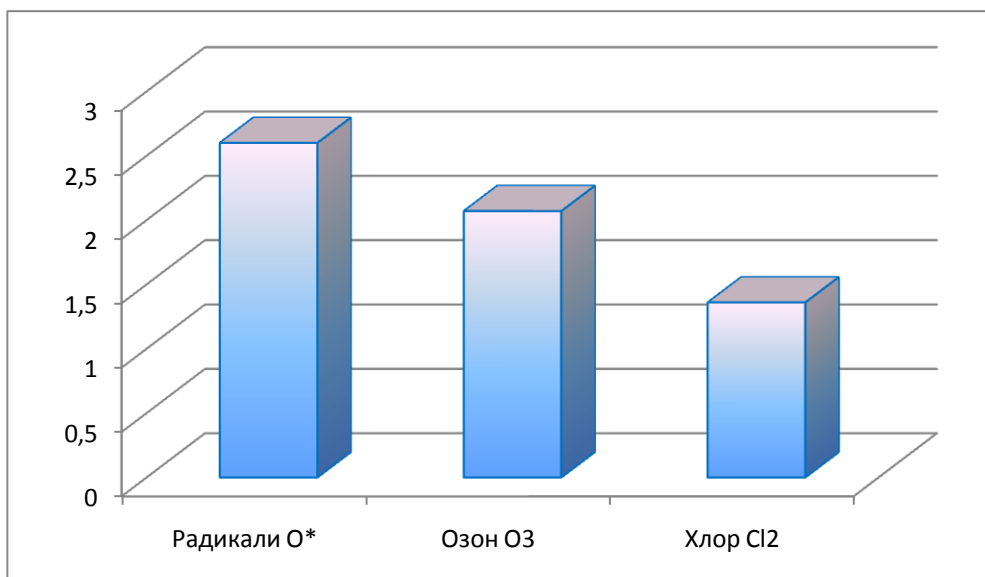


Рис.1. Окиснювальні потенціали радикалів O*, озону O₃, хлору Cl₂.

Хімічний склад радикалів, які утворюються у процесі фотолітичних реакцій наведено у таблиці 1 [2].

Таблиця 1. Хімічний склад радикалів, які утворюються у процесі фотолітичних реакцій.

№	Хімічний склад	Вміст, %
1	Радикали O*+O ₃	66,7
2	Гідроксильні радикали	14,7
3	Діоксид водню HO ₂	6,3
4	Перекис водню H ₂ O ₂	5,9
5	Атомарний кисень O	4,4
6	Інші окиснювачі	2
7	Оксиди азоту NO _x	0,1

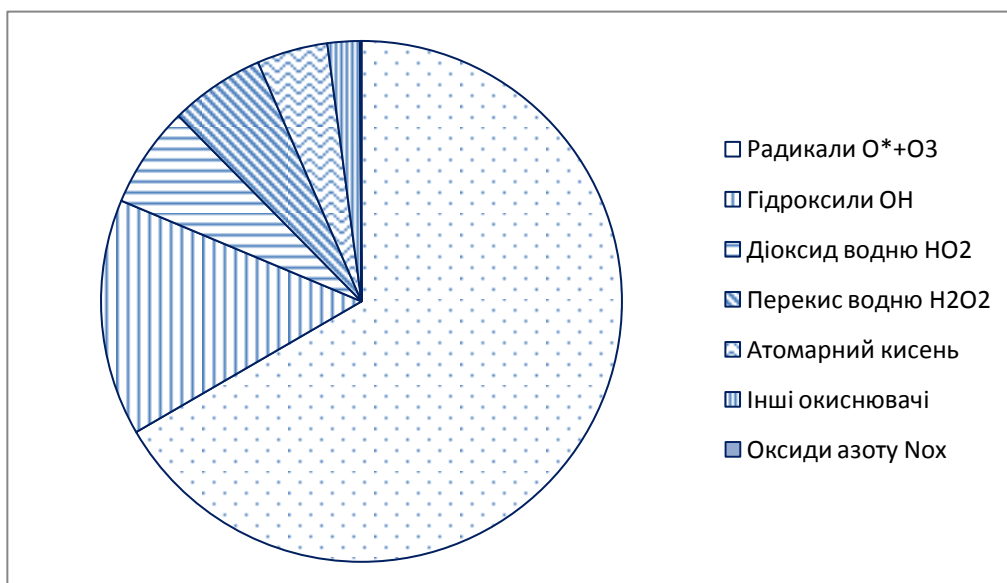


Рис. 2. Розподіл складу радикалів, які утворюються у процесі фотолітичних реакцій.



Рис. 3. Мобільна дослідно-промислова установка очищення стічних вод від токсичних речовин.

Крім того, озон та радикали, які утворюються в результаті вищезгаданих процесів, можуть ефективно реагувати з органічними сполуками при дуже високих швидкостях реакцій окиснення, що дозволяє суттєво зменшити витрати на знешкодження токсичних стоків. Слід зауважити, що однією з чисельних переваг методу активного окиснювання є можливість повного або часткового руйнування токсичних забруднень у стічних водах за температури навколишнього середовища шляхом їх перетворення на різні нешкідливі проміжні або кінцеві продукти, такі як карбонові кислоти, двоокис вуглецю, кисень, вода і інші [2-4].

Метод фотохімічного очищення стічних вод, у складі яких знаходилися токсичні речовини, був випробуваний на мобільній дослідно-промисловій установці, яка наведена на рисунку 3. Установка складалася з реактора, де відбувався первинний контакт стоків з озоном, генератора озону, фотохімічного реактора, фільтрів для попереднього та фінішного очищення стоків, компресору, насосів та шафи управління.

Блок-схема очищення стоків наведена на рис. 4.

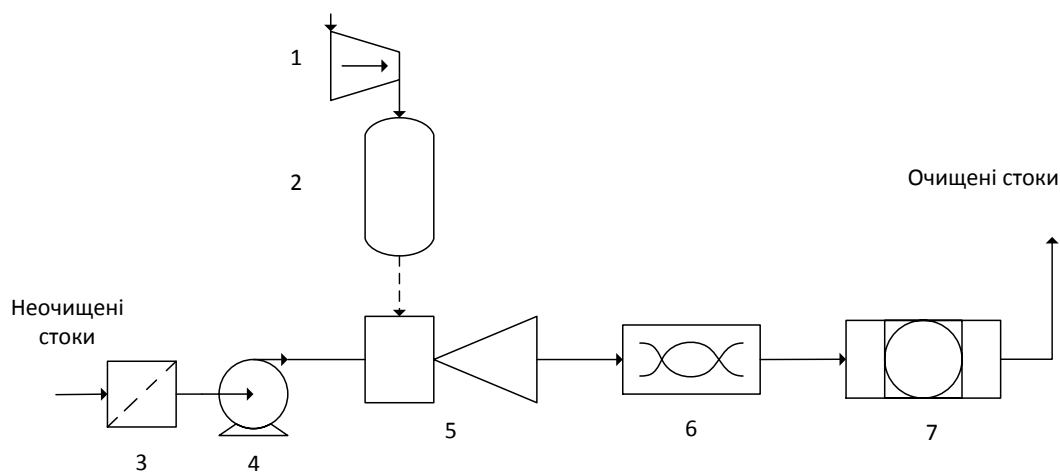


Рис. 4. Технологічна блок-схема очищення токсичних стоків на промислово-дослідній установці: 1 – компресор, 2 – генератор озону, 3 – фільтр, 4 – насос, 5 – інжектор, 6 – камера змішування, 7 – фотохімічний реактор.

На початку очищення стічної води поступають до фільтрувальної установки 3, де відбувається їх очищення від завислих речовин. Далі очищені стоки за допомогою насоса подаються до інжектору 5, де відбувається їх насичення озоном, який утворюється за допомогою озонатора 2. Насичені озоном стоки поступають до камери змішування 6, де відбувається контакт озону з токсичними органічними речовинами, які присутні у цих

стоках. Після цього стічні води поступають до фотохімічного реактору 7, де відбувається процес їх детоксикації, знезараження та знебарвлення.

Для відпрацювання режимів роботи установки було проведено ряд випробувань, метою яких було вивчення ефективності очищення стоків від токсичних речовин. У якості токсичних речовин були вибрані доступні у вільному продажу пестициди. Результати проведених експериментів відображені у таблиці 2.

Таблиця 2. Обробка стічних вод при комплексній дії УФ-опромінювання та озону

№	Параметр	Забруднююча токсична речовина			
		Карбофос	Ампіцилі н	Прометри н	2,4-D ¹
1	Початкова концентрація, мг/дм ³	78,5	82,7	95,0	89,7
2	Кінцева концентрація, мг/дм ³	3,06	2,15	4,28	5,0
3	Концентрація озону, мгО ₃ /дм ³	10,0	10,0	10,0	10,0
4	Доза УФ опромінення, кДж/м ²	250	250	250	250
5	Температура рідини, °С	26,5	25,8	25,7	26,3
6	Ступінь очищення, %	96,1	97,4	95,5	94,3

¹ (2,4-dichlorophenoxy)

Як видно з отриманих результатів, при сумісному застосуванні УФ опромінення та озонування ефективність знешкодження токсичних речовин різко збільшується і перевищує 94%. Слід зауважити, що ефективність знешкодження можна значно підвищити, якщо використовувати більш велику кількість озону та підвищити інтенсивність УФ опромінювання, або збільшити час обробки стічних вод. У результаті роботи мобільної установки відбувається повне або майже повне очищення і знезараження стічних вод, до складу яких входять токсичні забруднення, з отриманням продуктів наступних класів безпеки: тверда фаза – 3 - 4 клас небезпеки; рідинна фаза - нетоксична технічна вода [2-5].

Для оцінки ефективності очищення стоків був також використаний метод контролю ефективності очищення за хімічною потребою в кисні (ХПК) [6-11].

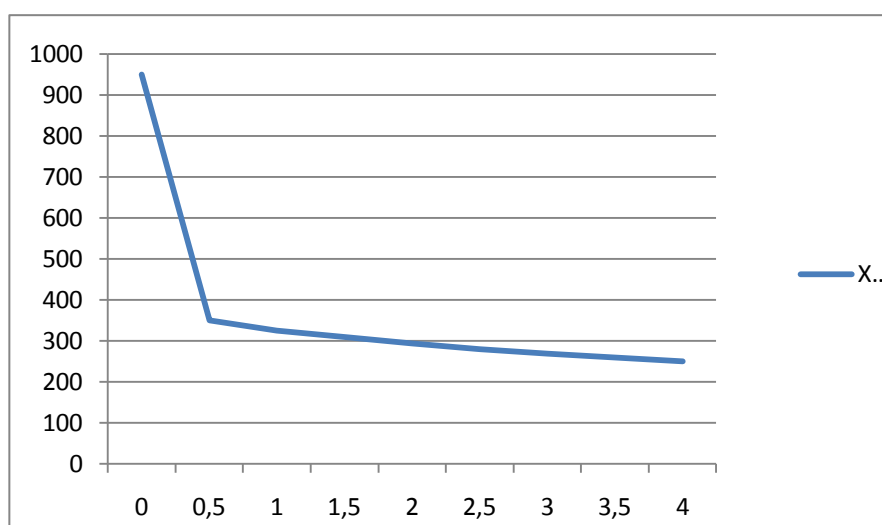


Рис.5. Зниження ХПК штучно забруднених токсичними речовинами стоків протягом 4 годин роботи мобільної дослідної установки.

Як видно з цієї діаграми, на протязі першої півгодини роботи установки відбувається стрибок ХПК з 950 до 350 мг/дм³, далі йде поступове, близьке до лінійного, зменшення ХПК. Протягом 4 годин відбувається зменшення ХПК з 350 до 250 мг/дм³.

Проведені дослідження показали, що спільне використання ультрафіолетового опромінювання разом з озонуванням забезпечує зниження рівня забруднення стічних вод токсичними речовинами з ефективністю більше 94%. Це дозволяє розглядати цей метод у якості ефективного засобу очищення стічних вод від токсичних органічних речовин. Невеликі витрати електроенергії (1,0 – 1,5 кВт·годин/м³), простота та компактність обладнання дозволяють розглядати метод активного окиснювання як такий, що придатний для вирішення проблеми детоксикації та знезараження токсичних стоків. За час проведення дослідних робіт були розроблені прототипи озонатора та фотохімічного реактору, які будуть використані при подальших роботах у цьому напрямку. На базі розробленого озонатора розроблені та готуються до серійного випуску кілька моделей озонаторів продуктивністю 25, 50, 100, 200, 300, 500 та 1000 гО₃/годину.

Висновки

Проведена робота показала досить високу ефективність роботи мобільної установки при детоксикації стічних вод, що дозволяє її рекомендувати для знешкодження токсичних стоків звалищ побутових та промислових відходів, стічних вод хімічних та фармацевтичних підприємств, утилізації застарілих пестицидів та мінеральних добрив, для знешкодження непридатних лікарських препаратів тощо. А також для вирішення глобальних проблем охорони навколишнього середовища та ліквідації антропогенних технологічних факторів.

1. Базалеев Н.И., Клепиков В.Ф., Литвиненко В.В. Моделирование и прогнозирование изменений физико-химических свойств материалов под воздействием излучений // Доповіді НАН України. - 1997. - №4. - с.82-86

2. Тарасов В.В., Баранкова Г.С. Фотохимическое окисление органических веществ в водных растворах. - Физическая химия растворов, МИФИ – 2004, С. 173 - 174.

3. Архипов В.П.; Камруков А.С.; Овчинников П.А.; Теленков И.И.; Шашковский С.Г.; Яловик М.С. Патент РФ RU2031851. Способ очистки сточных вод от органических веществ.

4. Нечаев И.А., Верещагина Л.М.; Байкова С.А.; Логунова А.Ю. Патент РФ 2246450. Способ очистки сточных вод от трудноокисляемых органических соединений.

5. Олейник И.С., Шаляпин С.М. Патент на полезную модель № 32038. Система для очистки сточных вод от токсичных веществ.

6. Эпоян С.М., Штонда Ю.И., Шаляпин С.М., Шаляпина Т.С., Зубко О.Л., Штонда Ю.И. Ультрафиолетові установки для знезараження стічних вод та шляхи їх вдосконалення // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ. – 2015. – Вип. 1(79). – С. 237-241.

7. Шаляпін С.М., Штонда Ю.І., Шаляпіна Т.С. Застосування УФ опромінення для знезараження стічних вод на малих очисних спорудах. // Виробничо – практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – Київ – 2013. - №2/13. – С. 14-19.

8. Шаляпін С.М., Штонда Ю.І., Шаляпіна Т.С. Порівняння різних методів знезараження стічних вод. // Виробничо – практичний журнал «Водопостачання та водовідведення». – Київ – 2013. - №3/13. – С. 20-25.

9. Штонда Ю.И., Шаляпин С.Н., Штонда И.Ю., Шаляпина Т.С. Обеззараживание сточных вод на локальных очистных сооружениях. // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення, IX міжнародна науково-практична конференція, м. Алушта 09-13 вересня 2013 р, Збірник наукових статей. Харків: «Райдер», – 2013. – Т. 1. – С. 282-287.

10. Эпоян С.М., Штонда И.Ю., Штонда Ю.И., Шаляпин С.Н., Шаляпина Т.С., Зубко А.Л. Обеззараживание сточных вод на локальных очистных сооружениях при использовании ультрафиолетового излучения // Motrol. Commission of motorization and energttics in agriculture. – Volume 15 №6. – Lublin - Rzeszow. – 2013. С. 85-92.

11. Дегтярь М.В. Деструктивные методы очистки сточных вод полигонов твёрдых бытовых отходов. – Науковий вісник будівництва, С. 172 – 175.

И.И.Назаренко, С. Н.Шаляпин, Т.С.Шаляпина, В.В.Литвиненко

МОБИЛЬНАЯ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННАЯ УСТАНОВКА ОЧИСТКИ СТОКОВ ПОЛИГОНОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ И БЫТОВЫХ ОТХОДОВ ОТ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОЗОНА И УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Рассматривается технология деструкции и обезвреживания молекулярных соединений путем комплексного воздействия ультрафиолетового излучения и озона. Предложено обоснование использования двух факторов воздействия. Приведено описание установки и технологического процесса для проведения обработки. Представлены результаты апробации работы установки на примере деструкции модельных растворов, содержащих типичные токсичные соединения.

I.I.Nazarenko, S.M.Shalyapin, T.S.Shalyapina, V.V.Lytvynenko

MOBILE EXPERIMENTAL AND INDUSTRIAL UNIT FOR CLEANING OF INDUSTRIAL AND HOME WASTES FROM TOXIC SUBSTANCES BY USING OZONE AND ULTRAPHYOLETIC RADIATION

The technology of destruction and neutralization of molecular compounds by complex influence of ultraviolet radiation and ozone is considered. The rationale for using the two impact factors is proposed. The description of the plant and the technological process for processing is given. The results of approbation of the plant operation on the example of the destruction of model solutions containing typical toxic compounds are presented.

СОКОЛОВ Д.Л.

Национальный университет гражданской защиты Украины

К ВОПРОСУ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНОЙ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Изложены основные принципы проектирования силовых систем, обеспечивающие оптимальное конструирование несущих элементов инженерной и аварийно-спасательной техники. Рассмотрен метод проектирования силовых систем с позиции износоусталостных повреждений, обеспечивающий оптимальное конструирование несущих элементов.

Введение. Циклический характер нагрузок, действующих на несущие элементы силовых систем механизмов инженерной и аварийно-спасательной техники при их эксплуатации, обуславливает возникновение отказов преимущественно износоусталостного происхождения. На их долю приходится до 95 % от общего количества отказов механизмов и машин. Только в последние годы стало ясно, что износоусталостные повреждения силовых систем есть результат взаимодействия как минимум двух повреждающих явлений – трения (изнашивания) и механической усталости. Поэтому расчет прочности и надежности силовых систем должен базироваться на таком взаимодействии.

Износоусталостное повреждение – это особый и своеобразный вид поверхностного повреждения основного элемента силовой системы. Его особенность – поверхностное крошение по пересекающимся плоскостям скольжения в результате рассеянного эффекта множественного микродвига. При оптимальном сочетании нагрузочных параметров σ_a (допускаемое напряжение) и p_a (допускаемое контактное давление) достигается такое состояние силовой системы, когда ее несущая способность самопроизвольно и в течение длительного времени поддерживается (регулируется) тонким изнашиванием и удалением из зоны трения поврежденного поверхностного слоя. Необратимые повреждения, обусловленные контактной нагрузкой ω_p и необратимые повреждения, обусловленные только циклическими напряжениями от внеконтактной нагрузки ω_σ , не складываются в процессе износоусталостных испытаний, но нелинейно взаимодействуют ($\omega_\sigma \leftrightarrow \omega_p$) между собой. Результат такого взаимодействия $f_\Sigma (\omega_\sigma \leftrightarrow \omega_p) = \omega_\Sigma$ и есть комплексное (износоусталостное) повреждение ω_Σ .

Анализ современных исследований. Подходами к оптимизации конструирования силовых систем в среднем машиностроении Украины занимаются специалисты ИПП им. Г. Писаренко [1] и авторы работ [2-4]. Неоспоримые известные преимущества волновых механизмов заставили активно и творчески поработать конструкторскую и технологическую мысль во всем мире, направленную на расширение функциональных возможностей волновых механизмов, повышение их прочности, ресурса, к.п.д., вибростойкости, снижение металлоемкости, упрощение технологии изготовления и сборки. Тенденция последнего времени – это переход от кинематических к силовым волновым зубчатым передачам (СВЗП). Такая тенденция устойчиво намечалась в мировой практике, в том числе и в Украине.

В нашей стране выделились три основные концепции расчета и проектирования СВЗП:

– трехволновые зубчатые передачи с металлополимерными гибкими колесами (МГК);

– сдвоенные ВЗП и ВЗП с двумя зубчатыми венцами, работающие по двухволновой схеме (школа А.И. Полетучего, НАКУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков);
– шарико-винтовые и ВПЗ с промежуточными телами качения (школа М.В. Маргулиса, ПГТУ, г. Мариуполь, Донецкая область).

Все три концепции, безусловно, имеют право на существование, успешно реализуются на практике, однако, приходит время создать единый подход к расчету и проектированию СВЗП, независимо от их конструктивного исполнения.

Цель. Специфика эксплуатации инженерной и аварийно-спасательной техники, а именно: повышенные требования к надежности, возможность многократных перегрузок, высокий коэффициент динамичности, интенсивный абразивный износ и т.д. требует надежной, научно обоснованной расчетно-проектировочной базы для разработки новой и модернизации старой техники для проведения работ по ликвидации чрезвычайных ситуаций. Исходя из специфики условий эксплуатации инженерной и аварийно-спасательной техники необходимо использовать научно обоснованный подход к выполнению проектировочных и проверочных расчетов несущих элементов этих машин с целью усовершенствования их конструкций при модернизации.

Объекты и методы исследований. Задача исследования формулируется следующим образом: установить основные критерии, по которым выполняются проектировочные и проверочные расчеты несущих элементов инженерной и аварийно-спасательной техники.

В обычной практике расчетов отдельных деталей на прочность при проектировании [2-3] решают две основные задачи: 1) размеры поперечного сечения детали и 2) выбирают материал для ее изготовления. Методики таких расчетов разработаны давно и широко известны. При проектировании силовых систем решаются более сложные, чем при расчетах на прочность, задачи. Во-первых, требуется определить размеры не одного, а двух элементов системы в сложных условиях нагрузки, а также выбрать материалы для их изготовления. Во-вторых, надо учесть работу системы как целого, т.е. принять во внимание и прямой, и обратный эффекты.

Необходимо изложить принципы проектирования Сосновского – Трощенко и сравнительно проанализировать различные результаты расчета силовых систем (а) традиционными методами (по отдельным критериям сопротивления усталости и/или износостойкости) и (б) методами износоусталостных повреждений (по комплексным критериям износоусталостного повреждения) [2-4]. Поэтому мы будем рассматривать лишь простейшие силовые системы [5]. Такие системы следует считать принципиальными, поскольку они находятся под воздействием как контактных, так и неконтактных (повторно-переменных) нагрузок.

Определим диаметр вала силовой системы манипулятора ИМР, которая работает при фрикционно-механической усталости. Условие прочности с коэффициентом запаса n_{σ} следует записать с учетом прямого эффекта

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{-1\tau}}{n_{\sigma}} \quad (1)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение. Величину $\sigma_{-1\tau}$ (предела выносливости вала с учетом влияния процессов трения и изнашивания) можно установить либо экспериментально (с помощью машин для износоусталостных испытаний), либо расчетным методом, например, по формуле [1]:

$$\sigma_{-1\tau} = \sqrt{\frac{1}{\Delta_{\sigma/\tau}} - \frac{\tau_{W}^2}{\tau_f^2}} \quad (2)$$

Пусть вал диаметром d изгибается моментом M . Тогда, как известно, наибольшее нормальное напряжение в нем

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{M}{\frac{\pi d^3}{32}} \quad (3),$$

где W – момент сопротивления изгиба.

Учитывая (3) в (4), найдем, с учетом (2), необходимый диаметр вала:

$$d_{TF} \geq \sqrt[3]{\frac{32 M n_{\sigma\tau}}{\pi \sigma_{-1\tau}}} = \sqrt[3]{\frac{32 M n_{\sigma\tau}}{\pi \sigma \sqrt{-1 \frac{1}{\Lambda_{\sigma/\tau}} \frac{\tau_W^2}{\tau_f^2}}}} \quad (4)$$

Таким образом, требуемый диаметр вала (d_{TF}) можно определить либо по комплексной характеристике износоусталостного повреждения ($\sigma_{-1\tau}$), либо по отдельным характеристикам сопротивления усталости (σ_{-1}) и износостойкости (τ_f) – в зависимости от того, какими результатами экспериментов располагает расчетчик.

Графический анализ формулы (4) дан на рис. 1а, где осью ординат служит отношение d_{TF} / d_F диаметра вала, определенного по критерию износоусталостного повреждения (d_{TF}) либо по критерию механической усталости (d_F); здесь принято, что коэффициенты запаса в обоих случаях одинаковы ($n_{\sigma\tau} = n_{\sigma}$). Случаю $d_{TF} = d_F$ соответствует горизонтальный пунктир на рис. 1а. Учет процессов трения и изнашивания при $\Lambda_{\sigma/\tau} = 1$ иллюстрируется криволинейной пунктирной линией; сплошные линии характеризуют случаи, когда $\Lambda_{\sigma/\tau} > 1$ либо $\Lambda_{\sigma/\tau} < 1$.

Пусть, например, $\frac{\tau_W^2}{\tau_f^2} = 0,5$. Тогда оказывается, что $d_{TF} / d_F \approx 1,12$, когда $\Lambda_{\sigma/\tau} = 1$, и $d_{TF} / d_F \approx 1,2$, когда $\Lambda_{\sigma/\tau} \approx 1,2$. А в случае, когда $\Lambda_{\sigma/\tau} \approx 0,5$, имеем $d_{TF} \approx 0,93 d_F$. Конкретные значения параметра $\Lambda_{\sigma/\tau}$ взаимодействия повреждений определяют в зависимости от свойств упрочнения-разупрочнения материалов, принятых для элементов силовой системы и условий ее эксплуатации.

Общее заключение таково: диаметр вала, определённый по критерию износоусталостных повреждений, может быть существенно меньше или больше того диаметра, который был бы определен по критерию механической усталости при условии, что изгибающий момент в обоих случаях одинаков.

Задачу определения площади контакта решим для силовой системы, которая работает при контактно-механической усталости. В таком случае условие прочности с коэффициентом запаса $n_{\rho\sigma}$ следует записать с учетом обратного эффекта

$$\rho_0 \leq [\rho] = \frac{\rho_f \sigma}{n_{\rho\sigma}} \quad (5)$$

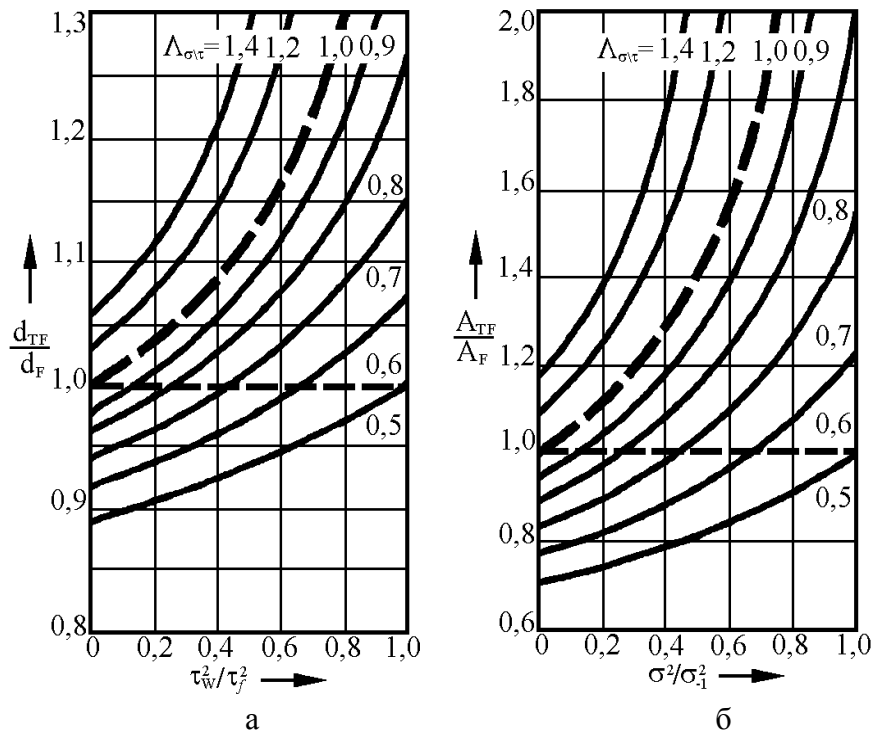


Рис. 1. Основные решения задачи проектирования силовых систем: а – определение диаметра вала; б – определение площади контакта.

где $[p]$ – допускаемое контактное давление. Величину p_{fc} (предела контактной выносливости с учетом влияния циклических напряжений) устанавливают либо экспериментально (с использованием машин для износоусталостных испытаний), либо расчетным методом [1].

$$\rho_{f\sigma} = \rho_f \sqrt{\frac{1}{\Delta_{\sigma/\rho}} - \frac{\sigma^2}{\sigma_{-1}^2}} \quad (6)$$

Рассмотрим далее случаи контакта вала с цилиндрическим роликом. Из (5) с учетом (6) получаем формулу для расчета требуемой (номинальной) площади контакта:

$$A_{TF} \geq \frac{2F_n n_{\rho\sigma}}{\pi \rho_{f\sigma}} = \frac{2F_n n_{\rho\sigma}}{\pi \rho_f \sqrt{\frac{1}{\Delta_{\sigma/\rho}} - \frac{\sigma^2}{\sigma_{-1}^2}}} \quad (7)$$

Зная величину площади контакта (7) и радиус вала, радиус ролика вычислить нетрудно (например, по соответствующему решению Герца).

Результаты. Анализ условия (7) аналогичен анализу условия (4) и дан на рис. 1б. Из этого рисунка следует, что в зависимости от условий работы системы и принятых материалов для изготовления ее элементов может быть $A_{TF} \leq A_T$ или $A_{TF} \geq A_T$. Иными словами, площадь контакта, определенная по критерию износоусталостных повреждений (A_{TF}), может быть существенно больше или меньше той площади, которая была определена по критерию «чистого» трения (A_T).

Выводы. Таким образом, рассмотрен метод проектирования силовых систем с позиции износоусталостных повреждений, обеспечивающей оптимальное конструирование несущих элементов инженерной и аварийно-спасательной техники.

Проектирование таким методом силовых систем несущих элементов инженерной и аварийно-спасательной техники существенно повысит ее надежность.

1. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении / В.Т. Трощенко. – Киев: Наукова думка, 1981. – 343 с.

2. Приймаков А.Г. Основы конструирования силовых волновых механизмов с позиции трибофатики // А.Г. Приймаков., Ю.А. Градыский., Г.А. Приймаков. Монография. Харьков: Оберіг, 2012. 302 с.

3. Приймаков А.Г. Теория и конструирование силовых волновых зубчатых передач // А.Г. Приймаков. Ю.С. Воробьев. Г.А. Приймаков. Монография. Харьков: Оберіг, 2010. 383 с.

4. Приймаков А.Г. Расчет и проектирование герметичных силовых волновых зубчатых передач // А.Г. Приймаков., Г.А. Приймаков., Н.П. Швырев. Монография. Харьков: Оберіг, 2010. 112 с.

5. Сосновский Л.А. Комплексная оценка надежности силовых систем по критериям сопротивления усталости и износостойкости (Основы трибофатики) / Л.А. Сосновский. – Гомель: БелИИЖТ, 1988. – 55 с.

Д.Л. Соколов.

ЩОДО ПИТАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ НЕСУЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ СИЛОВИХ СИСТЕМ ДЛЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ТА АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.

Викладено основні принципи проектування силових систем, що забезпечують оптимальне конструювання несучих елементів інженерної та аварійно-рятувальної техніки. Розглянуто метод проектування силових систем з позиції зносовтомних ушкоджень, що забезпечує оптимальне конструювання несучих елементів.

D. Sokolov

THE QUESTION OF DESIGN ELEMENTS BEARING FOR POWER SYSTEMS ENGINEERING AND RESCUE EQUIPMENT.

The basic principles of designing power systems that ensure optimal design of bearing elements of engineering and emergency - rescue equipment are stated. The power systems design method is considered from the standpoint of wear-fatigue damage, providing the optimal design of bearing elements.

УЛИЦЬКИЙ О.А., БУГЛАК О.В., РИЖЕНКО Н.О., ТЮРДЬО О.І.

Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління.

ОЦІНКА СТУПЕНЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ ҐРУНТІВ В УМОВАХ ПРОВЕДЕННЯ БОЙОВИХ ДІЙ (ЗБРОЙНОГО КОНФЛІКТУ)

Основою досліджень стану ґрунтів, що підпали під прямі дії збройного конфлікту, є геохімічні методи. Відбір проб ґрунту здійснювався у колишніх воронках, в яких утворювалось певна концентрація результатів вибуху боєприпасів. Факторами, які сприятимуть міграції, є кліматичні умови, тип ґрунту та літогенна основа в місці відбору проб і наявність геохімічних бар'єрів. Проведено оцінку розподілу елементів (Fe, Mn, Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, Cd, Sr, Hg, Ti, Va) у ґрунтах на сході України. Виявлено, що вміст хрому, нікелю, свинцю, міді значно перевищує встановлені гранично допустимі концентрації у ґрунті. Найбільшим значеннями хрому та свинцю характеризувались місця відбору проб: селище Суха Балка, Костянтинівський район; селище Карлівка; мікрорайон Східний м. Маріуполя; гора Карачун, м. Слов'янськ; залізничний вокзал станції Слов'янський курорт. Найвищий вміст міді стосовно всієї досліджуваної території був зафіксований у м. Краматорськ. Надходження металів до біоосної системи – ґрунту зумовлює необхідність проведення оцінки полютантів за рядом показників, у тому числі за швидкістю вертикальної та горизонтальної міграції за профілем ґрунту, швидкістю вимивання з коневмісного шару. Для виявлення достовірних закономірностей впливу металів на екосистеми необхідним є подальше проведення постійного моніторингу забруднення ґрунту та біоти з метою прогнозу негативного впливу забруднювачів на елементи екосистем.

Ключові слова: ґрунт, геохімічні методи, порушення ґрунтового профілю, міграція/рухомість елементів у ґрунті, вплив металів на екосистеми, збройний конфлікт.

Вступ. Ґрунти, як елемент ієрархічного ряду геосистеми, є особливим компонентом природи, що знаходиться в системному зв'язку з антропогенним навантаженням. Одними з основних методів дослідження стану ґрунтів є геохімічні, які дозволяють вивчати розподіл, процеси міграції і концентрації хімічних елементів та їх сполук. Визначення рухомих та потенційно рухомих форм полютантів у ґрунті є основним завданням, оскільки саме ці форми беруть участь у процесах біокумуляції у системі «ґрунт-рослина», а також здатні мігрувати за ґрунтовым профілем [1, 2, 6].

Оцінка передбачуваної реакції навколишнього природного середовища (НПС) на пряму дію збройного конфлікту (застосування стрілецького та артилерійського озброєння, систем РСЗО, бронетанкової техніки, ракетно-бомбових ударів і т. ін.), вирішення задач майбутнього раціонального використання природних ресурсів (ґрунтів) може мати негативні наслідки впливу забруднювачів на біогеохімічні цикли екосистем досліджуваної території.

За відсутності систематичних даних, які мають проводитися у ключі моніторингових досліджень, доцільним є аналізування існуючих результатів вмісту металів у 0-20 см шарі ґрунту. Для прогнозування використовуються також картографічні матеріали.

Виклад основного матеріалу за отриманими результатами. Враховуючи, що в місцях бойових дій спостерігається значні ландшафтно-геохімічні зміни та деградація геосистеми, можна передбачити, що головний чинник небезпечних змін – це порушення ґрунтового профілю і забруднення його хімічними елементами в результаті попереднього

промислового та військового впливу [10]. Протягом останніх років за рахунок техногенної складової зміни геохімічних полів в зоні зіткнення збройних формувань набули майже незворотного характеру, що особливо яскраво виявилось у підвищенні вмісту певних металів у верхньому шарі ґрунтів.

На сході Донбасу, в межах великих промислово-міських агломерацій та гірничовидобувних районів надходження забрудників у ґрунти, отже і формування геохімічних аномалій відбувалося переважно повітряним шляхом, що визначає значною мірою площинний характер розподілу забруднювачів в елементарній одиниці ландшафтного середовища (ЛС) [10]. Тому наявність геохімічної аномалії у ґрунтах є важливим індикатором забрудненості територій [12]. Ґрунти відіграють роль своєрідного акумулятора та водночас буфера екосистем в умовах воєнно-техногенного та промислового забруднень.

Періодичні або випадкові зміни умов середовища ґрунтової системи, такі як: коливання окисно-відновальних та лужно-кислотних умов, синергізм забруднювачів, порушення функціонування ґрунтового розчину (спричинене змінами швидкості руху водних потоків, нагріванням, евапорацією та транспірацією ґрунтових вод) – всі вони призводять до змін у процесах міграції і осадження продуктів вивітрювання та ґрунотворення, на розчинність сполук у ґрунтовому розчині, зміні зложення ґрунтового профілю. В зв'язку із воєнними діями поряд із природними міграційними потоками речовини утворився техногенний потік, який відрізняється вмістом елементів та джерелами їх надходження до нього. В умовах випадкового або навмисного забруднення токсичними металами відбувається аналогічне включення їх до геологічного, ґрунтового, біологічного колообігу при подальших явищах перерозподілу, взаємодії, акумуляції з адекватною залежністю процесів міграції від вище згаданих факторів, які мають місце в природних умовах. Однак забруднення призводить до надмірного вмісту (перезаповнення) біогеохімічних циклів, що спричиняє біогеохімічну ациклічність, а, отже, і порушення еколого-фізіологічної рівноваги біотичного компонента екосистем та втрати компонентної і територіальної екологічної рівноваги [2, 4].

Міграція елементів за ґрунтовым профілем може відбуватися як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямку [1, 5, 11]. За характером вертикальної міграції елементів розрізняють ґрунти з радіальним характером міграції (чорноземи) та з елювіально-ілювіальним типом міграції елементів (дерново-підзолисті ґрунти) [11]. В ґрунтах з елювіально-ілювіальним типом вертикальної міграції елементів чітко простежуються мінімуми та максимуми елементів за профілем ґрунту. Оскільки ґрунтовий покрив досліджуваної території представлений чорноземами, то міграційні процеси у профілі ґрунту відбуваються здебільшого за радіальним типом [1, 11].

Міграція елементів у профілі ґрунту залежить від багатьох факторів, серед яких значення кислотності ґрунту, окисно-відновальні умови, ємкість катіонного поглинання, ступінь насиченості основами, вміст органічної речовини. Вплив органічної речовини на геохімічну рухомість металів та їх сполук має таке ж велике значення, як і вплив мінеральних солей. Це пояснюється відомою стабілізуючою «захисною дією» розчинів (золей) гумусу (як і низки інших органічних речовин) на колоїдні розчини та суспензії. Ще більший вплив на геохімічну рухомість таких елементів, як мідь, кобальт, нікель мають гумусові кислоти і особливо фульвокислоти [11]. Фульвати цих металів, як правило, розчинні. Розчини (золі) гумінової кислоти, як правило, в кислому та нейтральному інтервалі осаджують мідь і цинк. Ці, практично, нерозчинні осади гуматів є як чисто хімічними солеподібними сполуками, так і продуктами взаємної коагуляції і адсорбції. У лужному середовищі утворюються рухомі (ті, що не коагулюють) колоїдні розчини гуматів лугів. Але двох- та трьохвалентні метали в лужному середовищі також блокуються у вигляді нерозчинних або малорозчинних осадів. Серед органічних

комплексних сполук особливо велика роль в міграції металів належить хелатам. Найбільш легко з органічною речовиною вступають в реакцію Fe, Ti, Cr, V, Cu, Ni, Co, Zn.

Іон метала-комплексоутворювача в хелатних сполуках не доступний для хімічних та фізико-хімічних реакцій. При сильно лужній реакції можливе руйнування комплексу та випадання з нього катіонів. Саме таким чином на контакті з карбонатними горизонтами, (наприклад, в чорноземах типових малогумусних) транзитні ґрунтові розчини здатні втрачати значну частку металів (Mn, Co, Cu, Ni, Zn) [11].

Крім комплексних сполук колоїдної природи, багато елементів можуть рухатись, утворюючи самостійні колоїдні системи. Метали можуть мігрувати також у складі різноманітних колоїдів: в адсорбованому стані, на поверхні колоїдних міцел, у складі поглинутих катіонів. Можлива водна міграція металів низької рухомості, оскільки в цій формі відбувається пересування будь-яких елементів [12]. Форма водної міграції тих чи інших елементів визначається поєднанням внутрішніх (фізико-хімічних) та зовнішніх (морфологія і генезис ґрунту, тощо) факторів. Однак, на думку В.А. Ковди, не дивлячись на різноманітність умов міграції для кожного елемента, можна говорити про більш характерну притаманну йому форму водної міграції (табл. 1) [11].

Більш мобільні елементи мігрують у формі істинних розчинів, менш мобільні (особливо метали) – в колоїдній формі та у вигляді механічних завислих часток.

Таблиця 1. Форми міграції мікроелементів у природних підземних водах

Форми міграції		Li, Rb, Cs	B, F, I	Ba, Sr	Cr, Co, Ni, Cu, Zn	Ti, V, Mn, Fe, Mo
Істинні розчини	Прості солі	█	█	█		
	Комплексні сполуки				█	
Колоїди	Органо-мінеральні і органічні колоїди			█	█	█
	Адсорбування на поверхні колоїдів			█	█	█
Завислі часточки (у складі мінералів)		█		█	█	█

Умови реакції середовища відіграють суттєву роль в міграції та осадженні багатьох продуктів вивітрювання і ґрунотворення. У кислому середовищі, тобто при pH = 5-6 і менше, збільшується міграційна рухомість хімічних елементів [1-3]. Фульвокислоти також утворюються переважно в гумусових горизонтах кислих ґрунтів. Гідроокиси металів мають високу рухомість лише в певних умовах середовища; при досягненні цих меж гідроокиси металів випадають в осад. Так, гідроокиси багатьох металів випадають в осад лише при високому значенні лужності. До їх числа відносяться цинк, кадмій, марганець, кобальт,

нікель, які навіть при $pH = 8$ можуть знаходитись в розчині. За А.І. Перельманом елементи Sr, Be, Cu, Cr, Mn, Ni, Co рухомі у кислому середовищі, а As, Mo, V^{+5} мобільні у лужному середовищі, що ж стосується Li, Rb, Cs, то вони рухомі у широкому діапазоні pH [12]. Розчинність сполук металів залежить і від їх концентрації. При дуже малій концентрації метали залишаються в розчині і не випадають в осад навіть при суттєвих змінах pH або після додавання розчинника. В зв'язку з цим розчинність багатьох сполук металів у природі вища, ніж в лабораторних умовах [11].

Здатністю до поглинання та часткового накопичення елементів у формі солей, хелатів, в обмінній та абсорбованій формі, крім рослинного опаду та гумусу, характеризується вся криптокристалічна колоїдна та перед колоїдна частина ґрунту. Поглинання елементів може відбуватись різними шляхами: вони можуть входити до складу поглинутих катіонів, до кристалічної ґратки глинистих мінералів у результаті ізоморфного заміщення; можуть давати «власні колоїдні» мінерали і можуть адсорбуватись на поверхні колоїдних частинок. Найбільше значення має закріплення елементів у кристалічній ґратці. Подібним чином можливе необмінне поглинання великої кількості елементів (від 20 до 40 % від ваги мінералу) [11]. Так, у монтморилонітах алюміній в октаедрах може заміщуватись на Fe^{+2} , Mg^{+2} , Ni^{+2} , Zr^{+2} , Cu^{+2} , Co^{+2} , в вермикулітах – Mg^{+2} , Fe^{+2} , Fe^{+3} , Cr^{+3} , V^{+3} . При досить високих концентраціях металів у ґрунті та водах можливе утворення колоїдних мінералів окислів (марганцю, більш рідко міді, хрому). Приуроченість металів до колоїдів знаходить відображення у підвищеному вмісті їх у мулистій фракції. Найбільшими коефіцієнтами накопичення у мулистій фракції по відношенню до суми решти фракцій характеризуються Zn, Cu, Co, який знаходиться в межах від 3 до 4. В більшості випадків для ряду інших металів даний коефіцієнт накопичення сягає 2-3 (тобто вміст металів у мулистій фракції в 2-3 рази перевищує їх вміст у решти ґрунтових фракцій в цілому). В багатьох ґрунтах до 60-80 % мікроелементів від їх валового вмісту сфокусовано в мулистій фракції. Значна частка мікроелементів сконцентрована в дрібнопилуватій фракції. Більш крупні частинки зазвичай бідні на мікроелементи. Ця загальна тенденція добре прослідковується для міді, нікелю, марганцю, дещо менш чітко – для кобальту, молібдену [2, 5, 11].

Розглядаючи міграцію свинцю за ґрунтовим профілем, при аеральному джерелі його надходження, низка науковців визначає ґрунт як комплексний геохімічний бар'єр, який утримує не тільки тверді, але і водорозчинні сполуки свинцю у формі органо-мінеральних, мінеральних, сорбційних і хемоседиментаційних комплексів та сполук [5, 11, 12]. При проходженні крізь рослинний покрив даний метал вступає у взаємодію з поверхнею зелених частин рослин, що викликає трансформування складу аерального джерела надходження свинцю [4]. Трансформація триває при проходженні крізь горизонти органічних рештків, що слабо розклалися (лісової підстилки, торфу), гумусові горизонти ґрунтів і далі, в більш глибоких горизонтах ґрунтової товщі. На цьому шляху змінюється співвідношення сполук свинцю, що мігрує у формі істинних або колоїдних розчинів і у формі суспензій [6].

Відомо, що Cu відноситься до найменш рухомих металів в ґрунті, хоча її вміст у ґрунтових розчинах досить великий в усіх типах ґрунтів [2]. Розчинність катіонних і аніонних форм міді знижується при pH 7-8. Розчинність міді у вигляді комплексу $CuCO_3$ не залежить від pH , ця сполука є головною неорганічною розчинною формою. Органічні хелати Cu складають 80 % від суми її розчинних форм [2, 4].

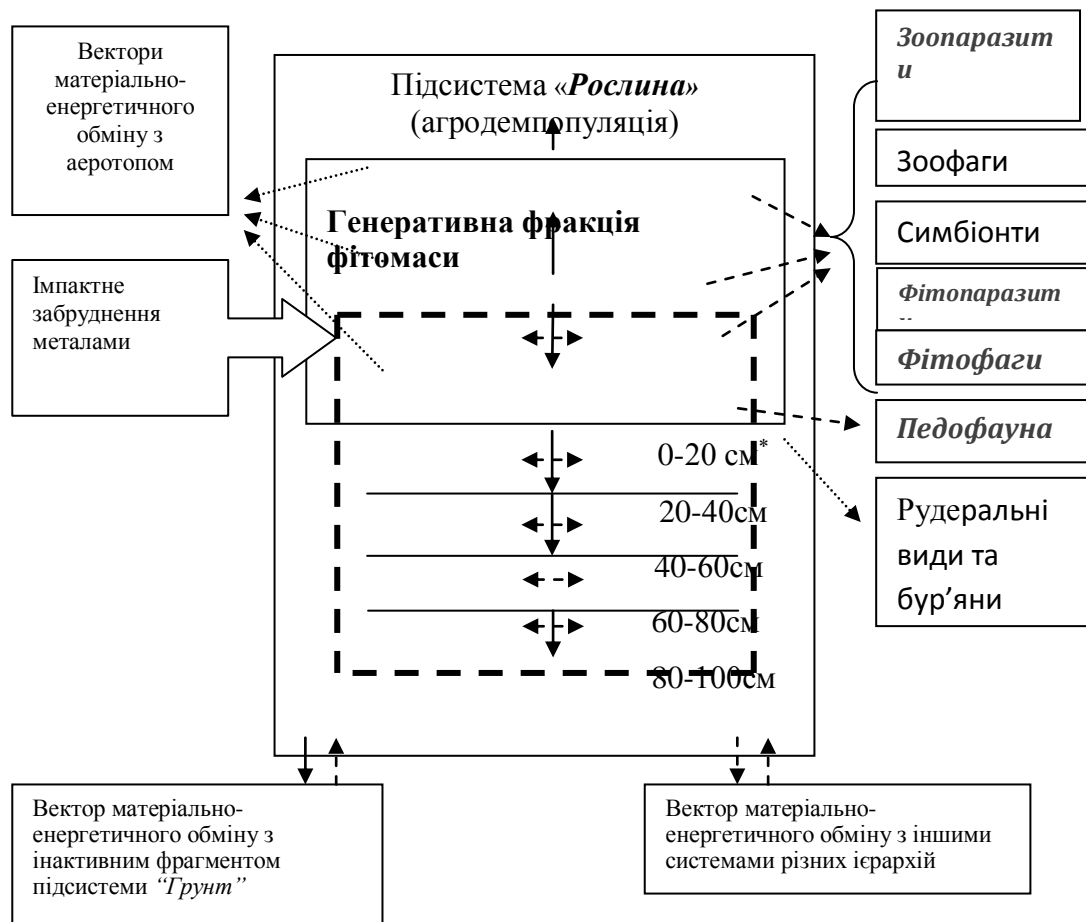
Основною формою знаходження в ґрунтах цинку є Zn^{+2} , однак в ґрунті можуть бути присутні і деякі інші іонні форми. Головні фактори, контролюючі рухомість цинку в ґрунтах, – зв'язування металу в хелатні сполуки. Кабата-Пендіас А. та Пендіас Х. відмічають, що цинк у порівнянні з міддю, присутній в ґрунті в більш розчинній формі [2]. Глиниста фракція та органічна речовина ґрунту здатна міцно утримувати цинк. Тому розчинність $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$,

$Zn_3(PO_4)_2$ в умовах ґрунту нижча у порівнянні із чистими експериментальними системами. Адсорбція цинку може послаблюватись при низьких рН (менше 7) за рахунок конкуренції інших іонів, що приводить до мобілізації та вилуговування цього елемента з кислих ґрунтів [2, 11].

При зв'язуванні Cd домінуючим процесом є конкуруюча адсорбція на глинах. При рН більше 7,5 сорбований ґрунтом кадмій перестає бути легкорозчинним, тому контролювати його рухомість в ґрунті може розчинність форм $CdCO_3$ та, можливо, $Cd_3(PO_4)$. В будь-якому ґрунті мобільність кадмію залежить від рН ґрунтового розчину. У кислих ґрунтах органічна речовина і півтораокисли можуть в певній мірі контролювати розчинність кадмію, а в лужних ґрунтах при розгляданні рівноваги за участю Cd, необхідно враховувати осадження кадмієвих сполук [2].

При аналізі міграційних процесів ртуті, слід враховувати таку властивість цього металу, як здатність до біоаккумуляції та міграції у ґрунтовому профілі її метил сполук. Самі ця форма ртуті є найбільш небезпечною для довкілля, оскільки саме метилртуть активно включається у біогеохімічні цикли та швидко поглинається біотою [4].

Розглядаючи процеси міграції металів у ґрунті, слід насамперед, враховувати біокумуляційну складову [10]. Адже наступним етапом після надходження у ґрунт та міграції за ґрунтовым профілем, є фітофільтрація рослинною компонентою (рис. 1).



* Позначення глибини горизонтів профілю ґрунту

Рис. 1. Блок-схема шляхів міграції важких металів у агроекосистемі при імпактному забрудненні ґрунту (складено Н. Роженко, О. Буглак).

Умовні позначення.

- головні шляхи міграції;
- другорядні шляхи міграції (винос < 0,01 % від кількості, що надійшла в результаті імпактного забруднення);
-→ несуттєві шляхи міграції (винос < 0,001 % від кількості, що надійшла в результаті імпактного забруднення).

Примітки. 1. Блок-схема реалізується за умовний період спостережень «від посіву до посіву». 2. На консервативному рівні у виносі ВМ беруть участь I, II, III концентри: тварини – фітофаги (трофічні зв'язки), паразитні рослини, тварини-ендобіонти, симбіонти (трофічні та топічні зв'язки), сапротрофи (організми, що використовують відмерлі органи чи особини), екскрісотрофи (організми, що використовують прижиттєві виділення рослин). 3. Інактивний фрагмент підсистеми «грунт» представлений генетичними горизонтами, розташованими нижче 100 см.

До суттєвих шляхів міграції насамперед відноситься біоаккумуляція. До 30 % концентрації металу, що надійшла у разі імпактного забруднення, акумулюються фітокомпонентою. Участь металів у міграційних процесах у профілі ґрунту при забрудненнях можна розглядати неоднозначно. З одного боку, поглинання металів ґрунтом можна характеризувати як позитивний чинник, який сприяє уповільненню біологічних процесів міграції. З іншого боку, утримування ґрунтом поллютантів веде до збільшення терміну його очищення, а отже і тривалої негативної дії на біологічні процеси ґрунту як біокосної системи, що, в свою чергу, спричиняє порушення природнього ґрунтоутворчого процесу. Надходження металів до біокосної системи – ґрунту зумовлює необхідність проведення оцінки поллютантів за рядом показників, у тому числі за швидкістю вертикальної та горизонтальної міграції за профілем ґрунту, швидкістю вимивання з кореневмісного шару. Існує декілька підходів щодо встановлення показника швидкості міграції елемента.

Перельман А.І. зазначав, що міграцію елемента, як і будь-яку роботу, можна виражати через добуток екстенсивних та інтенсивних параметрів. До екстенсивних параметрів він відносив такі, які мають адитивні властивості, що залежать від розмірів системи або фази, від маси елементів (об'єм, ентропія, маса, тощо) [12]. Інтенсивні параметри не мають адитивних властивостей та не залежать від розміру системи або фази (сила, тиск, температура, хімічний потенціал, тощо). Екстенсивні параметри міграції – це кількість мігруючих речовин, відстань міграції, тощо.

Виведення рухомих форм Cd в 0-20 см шарі ґрунту описується за допомогою експоненціальної залежності:

$$C(t) = C_0 * e^{-kt},$$

де $C(t)$ – кількість металу, що залишилась до часу t ; C_0 – початкова концентрація металу; k – константа швидкості виведення металу з 0-20 см шару ґрунту; t – час. Графічна формалізація процесу виведення металів із 0-20 см шару ґрунту наведено на рис. 2. Константа швидкості виведення рухомих форм металу не залежить від вихідних концентрацій і часу спостережень над процесом та несе інформацію, котра охоплює весь процес виведення рухомих форм кадмію в ґрунті. Графічну формалізацію динаміки вмісту рухомих форм металів у 20-100 см шарі ґрунту наведено на рис. 3 [1].

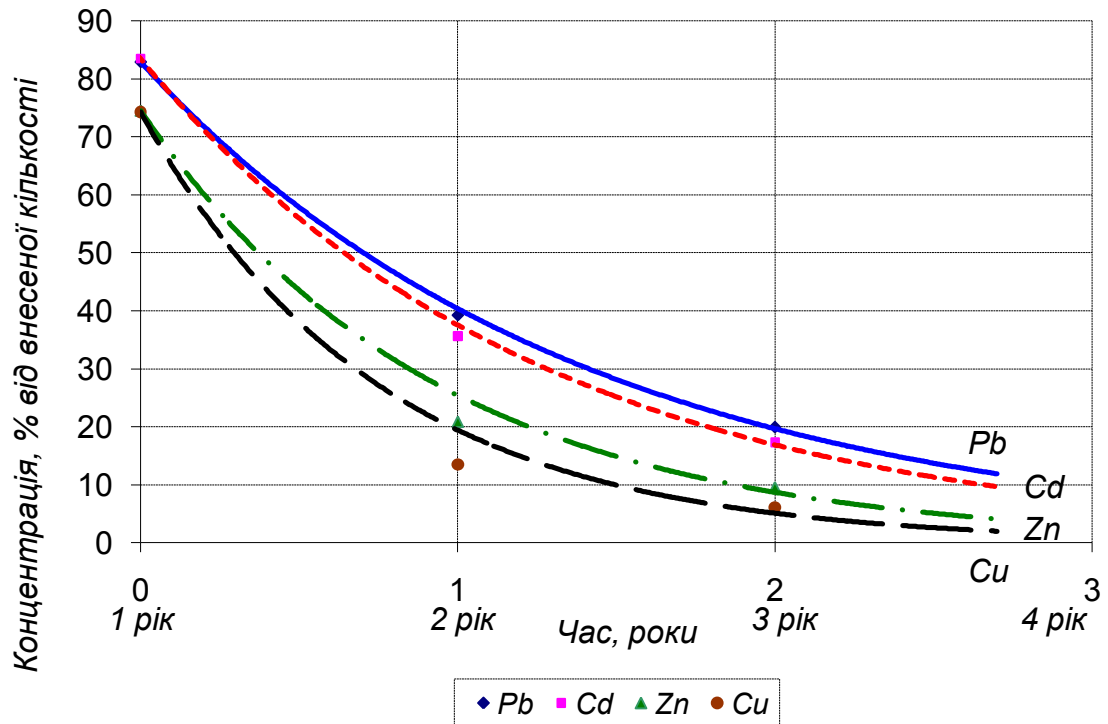


Рис. 2. Формалізація динаміки вмісту металів у 0-20 см шарі ґрунту [2].

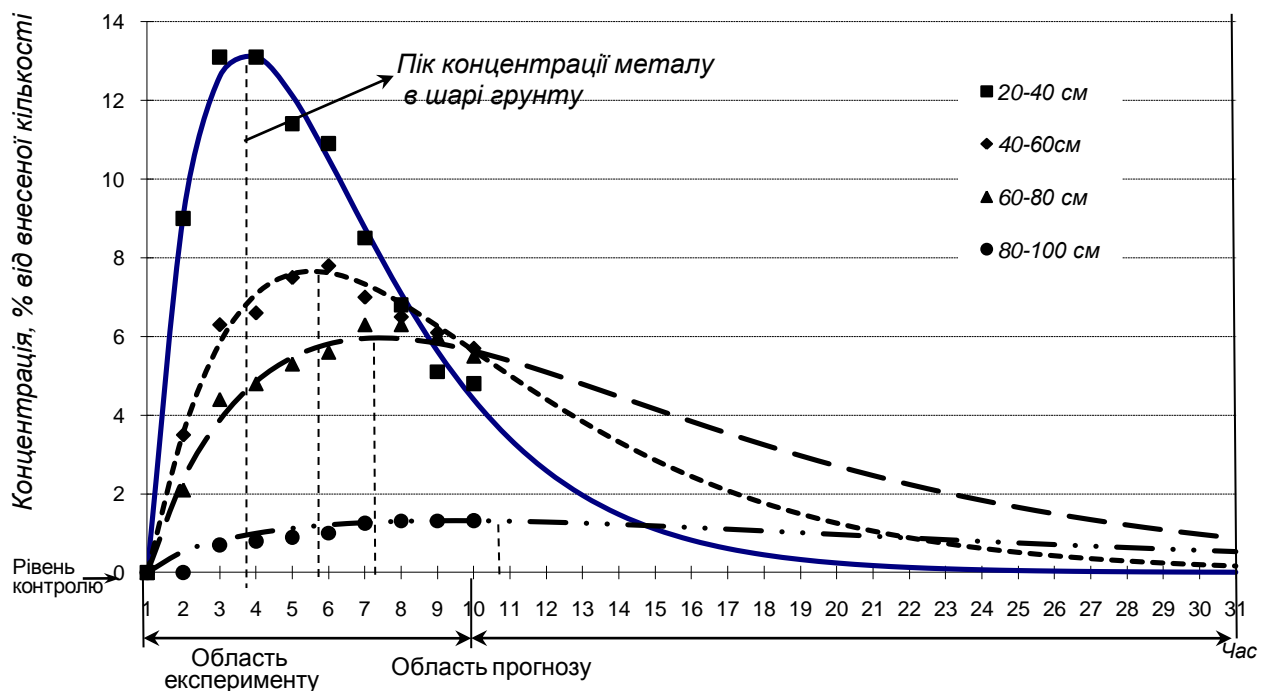


Рис. 3. Формалізація динаміки та прогнозу вмісту металів у профілі ґрунту (20-100 см) за Коллером [2].

Тривалість знаходження хімічних забруднювачів, в тому числі і металів у ґрунтах набагато більша, ніж в інших компонентах біосфери. Метали, що накопичуються в ґрунті, повільно відходять з низхідним потоком міграції донизу за профілем. Період напіввиведення важких металів з ґрунту складає: для цинку – 70-510, для кадмію – 13-110, для міді – 310-1500, для свинцю – 740-5900 років [1, 2].

Враховуючи те, що відбір проб ґрунту, включаючи контрольні, здійснювалось головним чином у колишніх воронках, слід орієнтуватися на накопичення результатів вибуху боєприпасів артилерії, танкових гармат, мінометів і ручних гранат. Складовою частиною боєприпасів є оболонка, бронебійна частина та вибухова речовина. Виходячи з цього, в результаті вибуху утворюється певна концентрація цих складових у воронці та прилеглий до неї ділянці місцевості. Слід також враховувати, що в результаті вибуху боєприпасів утворюється тріщинувато-пористе середовище, яке сприятиме міграції важких металів та неспалених решток вибухової речовини з поверхні по ґрунтовому розрізу в місці розташування воронки.

Факторами, які сприятимуть міграції, є кліматичні умови (кількість опадів, температурний режим та ін.). Крім того, нами враховані характеристики типового ґрунту та літогенної основи в місці відбору проб і наявність геохімічних бар'єрів.

Для відокремлення можливого впливу промислового техногенезу нами також враховані факти наявності поблизу промислових підприємств та можливий вплив автомобільних і залізничних магістралей і урбосередовища (населених пунктів).

При проведенні польових досліджень з відбором проб ґрунтів враховано ЛС (рис. 4).

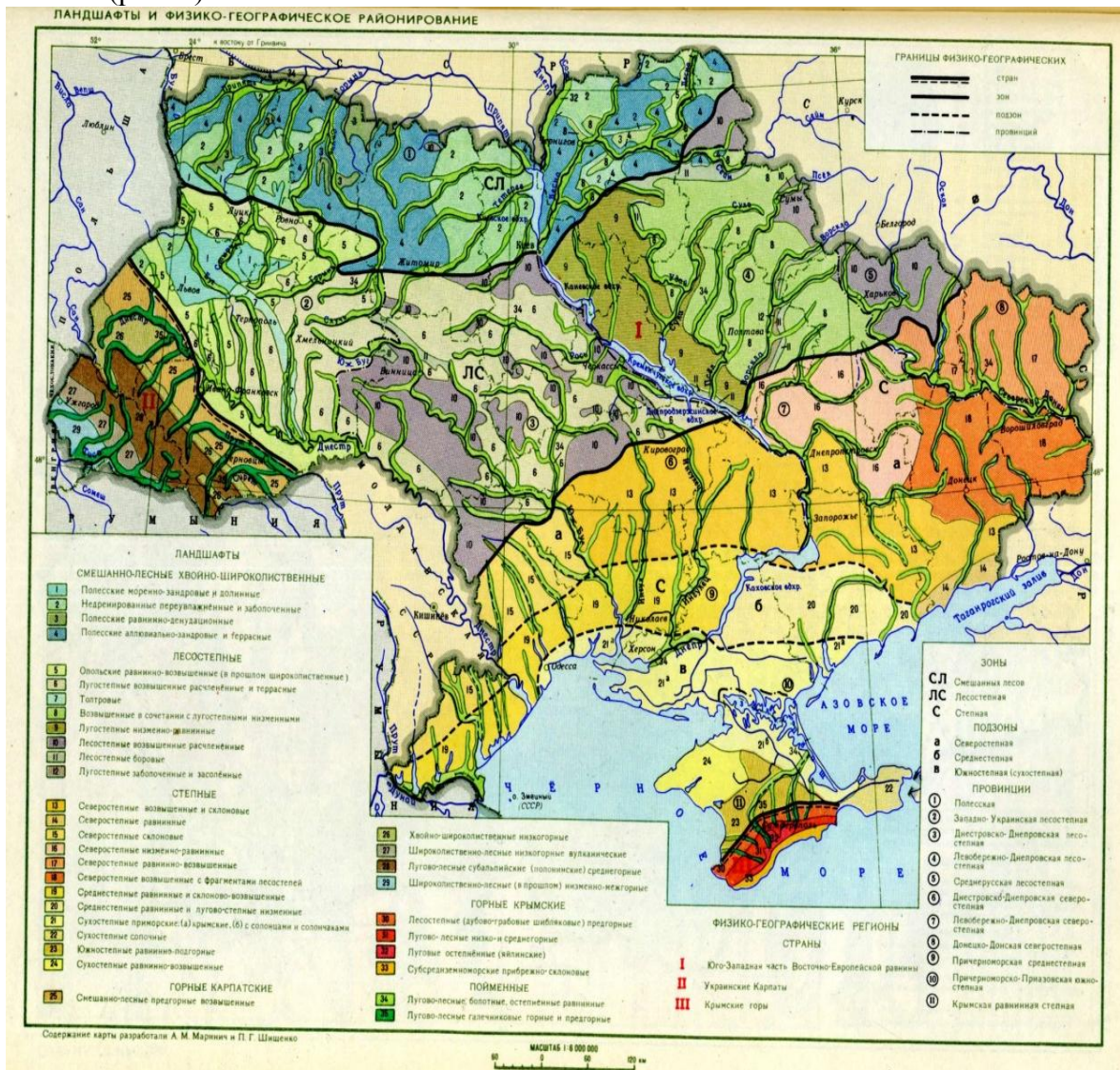


Рис. 4. Фізико-географічне районування і структура ландшафтів.

Для оцінки чинників, що впливають на акумуляцію важких металів у ґрунтах проведено аналіз їх фонового складу концентрацій за результатами відповідного ЛТС та ґрунтового районування. Тип ґрунту було визначено з використанням карти ґрунтів України (рис. 5). У ґрунтовому покриві переважають чорноземи звичайні малогумусні на глинистих лесах, чорноземи звичайні середньогумусні на глинистих лесах, чорноземи звичайні неглибокі на важкосуглинкових лесах та чорноземи солонцюваті на важких глинах (рис. 4). Цим ґрунтам властивий підвищений вміст титану, свинцю, цинку, міді, кобальту, хрому. Для чорноземів звичайних неглибоких на важкосуглинкових лесах характерний також підвищений валовий вміст марганцю.

Результати розподілу вмісту елементів у ґрунті на досліджуваній території наведено у таблиці 2. Оцінка вмісту елементів у ґрунті проводилась за показниками кларкового та фонового вмісту, ГДК у ґрунті. Клас небезпечності речовин вказано за даними Філова [8, 9].

Східна частина Донбасу за геологічною будовою відрізняється від інших регіонів степової частини України і за геохімічними властивостями (рис. 5) [7]. Досліджувана територія відноситься до ландшафтів північних степів, що займають розчленовані схили лесових височин: південно-дніпровські, південно-подільські, дніпровські, донецькі, гуляйпільські ландшафти кальцієвого класу; дніпровські ландшафти кальцієвого, кальцієво-натрієвого класу; кальцієво-магнієві ландшафти алювіальної Дніпровської рівнини з рівнотравно типчаковою рослинністю на малогумусних чорноземах. За Шищенко та Барановським до територій, в яких переважає акумуляція промислових забруднень відноситься Донецька, Запорізька області і південь Луганської області. Більшість досліджуваної території відноситься до ландшафтів із переважаючою здатністю до акумуляції. Південь Донецької області відноситься до ландшафтів із здатністю до самоочищення (рис. 5). Донецька область характеризується різними асоціаціями хімічних елементів. До складу асоціацій входять: свинець, ванадій, хлор, нікель тощо (рис. 6).

Виявлено, що вміст хрому, нікелю, свинцю, міді значно перевищує ГДК у ґрунті (табл. 2). Найбільшим значеннями хрому та свинцю характеризувались місця відбору проб ґрунту у районі Регіонального ландшафтного парку «Клебан-Бик», селища Суха Балка, Костянтинівському районі селище Карлівка, м. Маріуполь, мікрорайон Східний, гора Карачун м. Слов'янськ, Залізничний вокзал станції Слов'янський курорт. Максимальний вміст міді був у м. Краматорськ, фільтрувальна станція КПП «Краматорськводоканал» (точка наближена до Військового аеродрому) та перевищував значення ГДК більше, ніж у 10 разів.

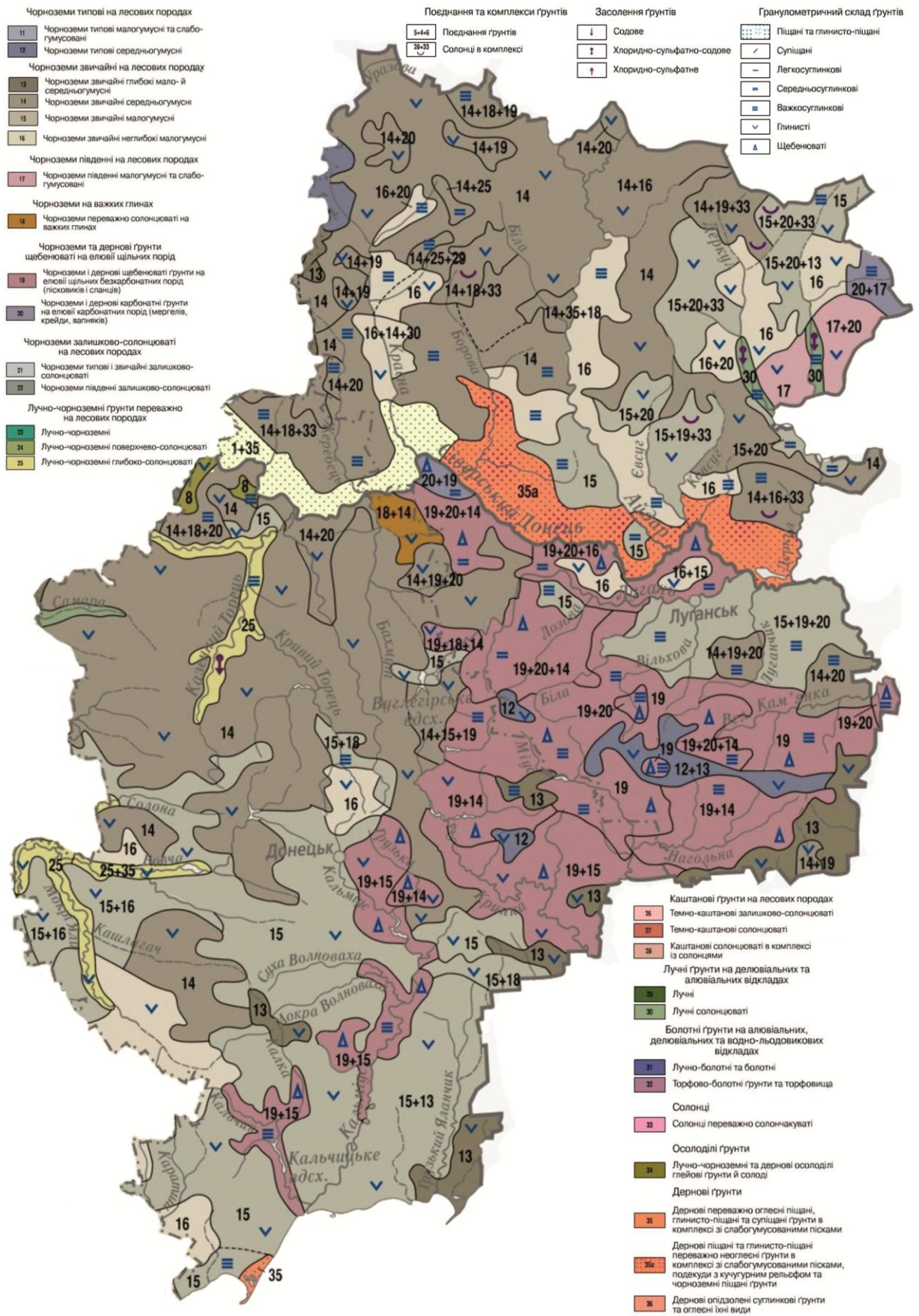


Рис. 5. Карта ґрунтів Донецької і Луганської області.



Рис. 6. Ландшафтно-геохімічне районування України.

Слов'янська ТЕС, дамба скидного колодязя № 2, м. Сіверськ, стадіон «Авангард» (район Відділення Українського степового природного заповідника НАН України «Крейдяна флора»), смт. Білогорівка, Західна фільтрувальна станція КП «Попаснянський Районний Водоканал», (точка наближена до Лисичанського нафтопереробного заводу) відмічались перевищенням гранично допустимої концентрації міді майже удвічі.

Оскільки фоновий вміст стронцію у ґрунті складає біля 0,035 мг/кг, а кларк – 340-10~4 %, перевищення Sr по цих показниках в усіх точках відбору складало в декілька десятків разів.

Вочевидь, перевищення гранично допустимих концентрацій елементів у точці відбору «залізничний вокзал станції Слов'янський курорт (район Регіонального ландшафтного парку «Слов'янський курорт»)» пов'язане із впливом залізничної магістралі та виробничого об'єднання «Хімпром».

Оскільки ванадій, залізо, хром, нікель, цинк, мідь входять до боєприпасів, а марганець, ртуть та кадмій входять до складу вибухових речовин боєприпасів артилерії, можна припустити, що підвищений вміст певних елементів також може бути пов'язаний із застосуванням зброї.

Таблиця 2. Розподіл елементів у ґрунтах досліджуваної території, мг/кг

Точка пробовідбору	Ґрунти	Залізо загальне	Марганець	Хром загальн.	Нікель	Цинк	Свинець	Мідь	Кадмій	Стронцій	Ртуть	Титан	Ванадій
гора Карачун, м.Слов'янськ	Чорноземи звичайні середньогумусні	23,7	520	90	24	61	25	25	0,4	140	0,2	12,3	70
Залізничний вокзал станції Слов'янський курорт	Чорноземи звичайні малогумусні	23,7	520	90	24	61	25	25	0,4	140	0,2	12,3	70
Слов'янська ТЕС, дамба скидного колодязя №2	чорноземи і дерново- карбонатні ґрунти на елювії карбонатних порід	47,1	600	70	25	63	18	35	0,5	130	0,2	59,9	60
м.Сіверськ, стадіон «Авангард» (район Відділення Українського степового природного заповідника НАН України «Крейдяна флора»)	чорноземи і дерново- карбонатні ґрунти на елювії карбонатних порід	47,1	600	70	25	63	18	35	0,5	130	0,2	59,9	60
смт. Білогорівка, Західна фільтрувальна станція КП «Попаснянський Районний Водоканал», (точка наближена до Лисичанського нафтопереробного завод)	чорноземи і дерново- карбонатні ґрунти на елювії карбонатних порід	47,1	600	70	25	63	18	35	0,5	130	0,2	59,9	60

Точка пробовідбору	Грунти	Залізо загальне	Марганець	Хром загальн.	Нікель	Цинк	Свинець	Мідь	Кадмій	Стронцій	Ртуть	Титан	Ванадій
м. Щастя, Луганської області, район Луганська ТЕС на території садівницьких товариств	Дернові піщані та глинисто-піщані неоглеєні ґрунти в комплексі з слабогумусованими пісками та чорноземні піщані ґрунти	47,1	600	70	25	63	18	35	0,5	130	0,2	59,9	60
м. Краматорськ, фільтрувальна станція КПП «Краматорськводоканал» (точка наближена до Річки Корого водозабору)	Лучно-чорноземні глибоко солонцюваті ґрунти	37,9	800	70	25	8,4	18	45	0,5	135	0,2	27,9	70
Район Регіонального ландшафтного парку «Клебан-Бик», селище Суха Балка, Ізюмський район	Чорноземи звичайні середньогумусні	23,7	520	90	24	61	25	25	0,4	140	0,2	12,3	70
Селище Карлівка	Чорноземи звичайні малогумусні	23,7	520	90	24	61	25	25	0,4	140	0,2	12,3	70
м. Маріуполь, мікрорайон Східний	Чорноземи звичайні малогумусні	23,7	520	90	24	61	25	25	0,4	140	0,2	12,3	70
ГДК рухомих форм у ґрунті, мг/кг		0,42 %	1500 мг/кг Mn+V 100 мг/кг	Cr ⁺⁶ , 0,005 мг/кг	4,0	23	2,0	3,0	0,7		2,1		150 мг/кг (оксид (V))
Фоновий вміст у ґрунті			600-900 мг/кг							0,035	1*10 ⁻⁶ %	До 5,0 г/кг	1*10 ⁻⁵ %
Кларк		4,65%		8,3*10 ⁻³ %						340-10~4 %	8*10 ⁻⁶ %	0,45—0,57 %	90*10 ⁻⁴ %
Клас небезпеки		3	3	3	2	3	2	3	2	2	1	3	3

Висновок. Таким чином, виявлено, що найбільшим перевищенням фонового вмісту у ґрунті характеризувався стронцій. Хром, нікель, мідь, свинець, цинк перевищували нормативи вмісту у ґрунті у певних точках відбору досліджуваної території. Для виявлення достовірних закономірностей впливу металів на екосистеми необхідним є подальше проведення постійного моніторингу забруднення ґрунту та біоти з метою прогнозу негативного впливу забруднювачів на елементи екосистем.

1. Ryzhenko N. Kinetic of migration of lead, cadmium, cooper, zinc in the condition of turf-podzol sandy loam and chernozem soil / N. Ryzhenko, V. Kavetsy // Polish Journal of Soil Science. – 2013. – № 2. – Vol. XLVI/2. – P. 125-129.
2. Pendias A.K. Trace Elements in Soils and Plants / A.K. Pendias, H. Pendias. – Boca Raton: CRC Press, 2001. – 253 p.
3. Wang QR Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China / Wang QR, Cui YS, Liu XM, Dong YT, Christie P. // J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. – 2003. – № 38 (5). – P. 823-838.
4. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в агроландшафте / Ю.В. Алексеев. – С-Пб: Изво: ПИЯФ РАН, 2008. – 216 с.
5. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия: учебник / В.А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
6. Аржанова В.С. Геохимия и техногенез / В.С. Аржанова, П.В. Елпатьевский – М.: Наука, 1990. – 195 с.
7. Барановський В.А. Україна. Еколого-географічний атлас. Атлас-монографія / В.А. Барановський, П.Г. Шищенко, Я.Б. Олійник – К.: Варта, 2006. – 220 с.
8. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов V-VIII групп: Справочник / Под общей ред. В.А. Филова. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1989. – 592 с.
9. Вредные химические вещества: Неорганические соединения элементов I-IV групп: Справочник / Под общей ред. В.А. Филова. – Л.: Химия, Ленинградское отделение, 1988. – 512 с.
10. Гродзинський М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір / М.Д. Гродзинський. – К.: Київський ун-т, 2005. – у 2-х томах. – Т. 1. – 431 с. – Т. 2. – 503 с.
11. Ковда В.А. Биогеохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. – М.: Наука, 1985. – 263 с.
12. Перельман А.И. Геохимия ландшафта: учебник / А.И. Перельман Н.С. Касимов. – М.: Московский гос. ун-т, 1999. – 610 с.

REFERENCES

1. Ryzhenko N. Kinetic of migration of lead, cadmium, cooper, zinc in the condition of turf-podzol sandy loam and chernozem soil / N. Ryzhenko, V. Kavetsy // Polish Journal of Soil Science. – 2013. – № 2. – Vol. XLVI/2. – P. 125-129.
2. Pendias A.K. Trace Elements in Soils and Plants / A.K. Pendias, H. Pendias. – Boca Raton: CRC Press, 2001. – 253 p.
3. Wang QR Soil contamination and plant uptake of heavy metals at polluted sites in China / Wang QR, Cui YS, Liu XM, Dong YT, Christie P. // J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng. – 2003. – № 38 (5). – P. 823-838.
4. Alekseev Y.V. Heavy metals in agrolandscape / Y.V. Alekseev. – S-Pb: ПИЯФ RAS, 2008. – 216 p.
5. Alekseenko V.A. Ecological geochemistry: a textbook / V.A. Alekseenko. – М.: Nauka, 1990. – 195 p.
6. Arzhanova V.S. Geochemistry and technogenesis / V.S. Arzhanova, P.V. Elpatievskii – М.: NAUKA, 1990. – 195 p.

7. Baranovskii V.A. Ukraine. Eco-geographic Atlas. Atlas-monograph / V.A. Baranovskii, P.G. Shyshchenko, Y.B.Oliinyk – K.: Varta, 2006. – 220 p.
8. Harmful chemicals: Inorganic compounds of elements of V-VIII groups: Handbook / Under the general edit. V.A.Filov. – L.: Chemistry, Leningrad Branch. 1989. – 592 p.
9. Harmful chemicals: Inorganic compounds of elements of I-IV groups: Handbook/ Under the general edit. V.A.Filov. – L.: Chemistry, Leningrad Branch. 1989. – 592 p.
10. Grodzinskii M.D. Knowledge of the landscape: place and space / M.D. Grodzinskii. – K.: Kyiv University, 2005. – in two vol. – Vol. 1. – 431 p. – 503 p.
11. Kovda V.A. Biogeochemistry of soil / V.A. Kovda – M.: Nauka, 1985. – 263 p.
12. Perlman A.I. Geochemistry of the landscape: a textbook / A.I. Perlman, N.S. Kasimov. – M.: Moscow State University, 1999. – 610 p.

Улицкий О.А., Буглак А.В., Риженко Н.А., Тюрдё О.И.
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ТРАНСФОРМАЦИИ ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ПРОВЕДЕНИЯ
БОЕВЫХ ДЕЙСТВИЙ (ВООРУЖЕННОГО КОНФЛИКТА)

Основой исследований состояния почв, подвергшихся прямому действию вооруженного конфликта, являются геохимические методы. Отбор проб почвы осуществлялся в бывших воронках, в которых создавалась определенная концентрация результатов взрыва боеприпасов. Факторами, способствующими миграции, являются климатические условия, тип почвы, литогенная основа в месте отбора проб и наличие геохимических барьеров. Проведена оценка распределения элементов (Fe, Mn, Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, Cd, Sr, Hg, Ti, Va) в почвах на востоке Украины. Выявлено, что содержание хрома, никеля, свинца, меди значительно превышает установленные предельно допустимые концентрации в почве. Наибольшими значениями хрома и свинца характеризовались места отбора проб: поселок Сухая Балка, Константиновский район, поселок Карловка; микрорайон Восточный г. Мариуполя; гора Карачун, г. Славянск; железнодорожный вокзал станции Славянский курорт. Высокое содержание меди относительно всей исследуемой территории было зафиксировано в г. Краматорск. Поступления металлов в биокосные системы – почвы вызывает необходимость проведения оценки поллютантов по ряду показателей, в том числе за скоростью вертикальной и горизонтальной миграции по профилю почвы, скоростью вымыванию из конесодержащего слоя. Для выявления достоверных закономерностей влияния металлов на экосистемы необходимо дальнейшее проведение постоянного мониторинга загрязнения почвы и биоты с целью прогноза негативного воздействия загрязнителей на элементы экосистем.

Ключевые слова: почва, геохимические методы, нарушение почвенного профиля, миграция / подвижность элементов в почве, влияние металлов на экосистемы, вооруженный конфликт.

Ulytskyi O.A., Buglak O.V., Ryzhenko N.O., Tiurdo O.I.
EVALUATION OF THE DEGREE OF TRANSFORMATION OF SOILS IN THE
CONDITIONS OF CONDUCT OF OPERATIONS (ARMED CONFLICT)

The basis of research on the conditions of soils, which came under the direct action of armed conflict, is geochemical methods. Sampling of soil was carried out in former funnels, in which a certain concentration of explosion results of ammunition was formed. The factors that contribute to migration are climatic conditions, soil type and lithogenic foundations at the sampling site and the presence of geochemical barriers. It was estimated the distribution of the elements (Fe, Mn, Cr, Ni, Zn, Pb, Cu, Cd, Sr, Hg, Ti, Va) in soils in the East of Ukraine in conditions of armed conflict. It was found that the content of chromium, nickel, lead, copper significantly exceeds the established boundary permissible concentrations in the soil. The greatest excess of background content in the soil was characterized by strontium. The highest values of chromium and lead were sampling sites of soil: the village of Sukha Balka, Kostantynivsky district; the village of Karlivka; district Eastern of Mariupol; m. Karachun, Slovyansk; Railway Station Slovyansky resort. The greatest content of copper in relation to the entire investigated territory was recorded in Kramatorsk. For identify reliable patterns of the effect of metals on ecosystems, further monitoring of soil and biota pollution is necessary in order to predict the negative impact of pollutants on ecosystem elements.

Keywords: *soil, geochemical methods, disturbance of the soil profile, migration / mobility of elements in the soil, the influence of metals on ecosystems, armed conflict.*