

**Міністерство освіти і науки України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»**

**Збірник наукових праць  
Національного гірничого університету**

**№ 47**

**Дніпропетровськ  
2015**

УДК 622 (06)

Засновник та видавець  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Рік заснування – 1999

**Збірник наукових праць НГУ.** — Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2015 — № 47 — 172 с.

Наведено результати теоретичних і експериментальних досліджень з різних аспектів гірничої справи, розглянуто проблеми відкритої і підземної розробки родовищ корисних копалин, охорони праці і безпеки робіт на гірничих підприємствах, проблеми екології, маркшейдерії, геології, геоінформатики, електропостачання й автоматизації виробничих процесів у гірничій промисловості, висвітлені питання експлуатації гірничо-транспортного устаткування на шахтах, рудниках і кар'єрах.

Матеріали збірника призначені для наукових та інженерно-технічних працівників, які спеціалізуються в галузі гірничої справи .

Збірник друкується за рішенням вченої ради НГУ  
(протокол № 3 від 25.03.2015 р.)

Комп'ютерна верстка і набір – Е.С. Козій

Збірник зареєстровано у державному комітеті  
телебачення і радіомовлення України.  
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 9030 від 04.08.2004 р .

© Державний ВНЗ « НГУ », 2015

**Редакційна Рада збірника:**

акад. НАН України, д.т.н., проф. Г.Г. Півняк  
д.т.н., проф. П. І. Пілов  
д.т.н., проф. О.С. Бешта  
д.т.н., проф. О. М. Шашенко  
к.т.н., доц. В.В. Ішков

**Редакція:**

головний редактор – к.т.н., доц. В.В. Ішков  
заступник редактора – д.т.н., проф. С.Ф. Власов  
відповідальний секретар – н.с. В. В. Задорнова

**Експертно-редакційна колегія:***Відкрита розробка*

*РКК* Дриженко А. Ю. – д.т.н.,  
проф. Четверик М. С. – д.т.н.,  
проф. Прокопенко В. І. – д.т.н.,  
проф. Симоненко В. І. – д.т.н.,  
доц. Собко Б.Ю. – д.т.н., г.н.с.

*Збагачення корисних копалин*

Пілов П. І. – д.т.н., проф.  
Младецький І. К. – д.т.н., проф.  
Полулях О. Д. – д.т.н., проф.  
Франчук В. П. – д.т.н., проф.  
Мостика Ю.С. – д.т.н., проф.  
Горобець Л.Ж. – д.т.н., проф.

*Екологічна безпека*

Зберовський О.В. – д.т.н., проф.  
Шапарь А.Г. – д.т.н., проф.  
Колесник В.Є. – д.т.н., проф.  
Долгова Т.І. – д.т.н., проф.  
Горова А.І. – д.б.н., проф.

*Підземна розробка РКК*

Бондаренко В. І. – д.т.н., проф.  
Кузьменко О. М. – д.т.н., проф.  
Пономаренко П.І. – д.т.н., проф.  
Бузило В.І. – д.т.н., проф.  
Ковалевська І.А. – д.т.н., проф.

*Маркшейдерія*

Четверик М. С. – д.т.н., проф.  
Халимендик Ю.М. – д.т.н., проф.  
Шашенко О.М. – д.т.н., проф.  
Петрук Є.Г. – д.т.н., проф.  
Назаренко В.О. – д.т.н., проф.

*Шахтне і підземне будівництво*

Шашенко О.М. – д.т.н., проф.  
Пономаренко П.І. – д.т.н., проф.  
Роєнко А.М. – д.т.н., проф.  
Сдвіжкова О.О. – д.т.н., проф.  
Соболев В.В. – д.т.н., проф.

*Геотехнічна і гірнична механіка*

Садовенко І.О. – д.т.н., проф.  
Бондаренко В.І. – д.т.н., проф.  
Шашенко О.М. – д.т.н., проф.  
Власов С.Ф. – д.т.н., проф.  
Новікова Л.В. – д.т.н., проф.  
Москальов О.М. – д.т.н., проф.

*Геологія та геофізика*

Приходченко В.Ф. – д.геол.н., проф.  
Додатко О.Д. – д.г.-м.н., проф.  
Бусигін Б.С. – д.т.н., проф.  
Тяпкін К.Ф. – чл.-кор., д.г.-м.н., проф.  
Баранов П.М. – д.геол.н., проф.

*Гірничі машини.**Динаміка і міцність машин*

Франчук В.П. – д.т.н., проф..  
Самуся В.І. – д.т.н., проф..  
Заболотний К.С. – д.т.н., проф..  
Ширін Л.Н. – д.т.н., проф..  
Кіріченко Є.О. – д.т.н., проф.

*Буріння свердловин*

Кожевников А.О. – д.т.н., проф..  
Власов С. Ф. – д.т.н., проф..  
Москальов О.М. – д.т.н., проф..  
Симанович Г.А. – д.т.н., проф..  
Франчук В.П. – д.т.н., проф.

*Електротехнічні комплекси і системи*

Півняк Г. Г. – проф., д.т.н., проф..  
Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.  
Випанасенко С.І. – д.т.н., проф.  
Бешта О.С. – чл.-кор., д.т.н., проф.  
Мещеряков Л.І. д.т.н., проф.

*Автоматизація технологічних процесів*

Ткачов В.В. – д.т.н., проф.  
Бешта О.С. – чл.-кор., д.т.н., проф.  
Кочура Є.В. – д.т.н., проф.  
Слесарєв В.В. – д.т.н., проф.  
Алексєєв М.О. – д.т.н., проф.

*Охорона праці*

Голінько В.І. – д.т.н., проф.  
Бойко В.О. – д.т.н., проф.  
Зберовський О.В. – д.т.н., проф.  
Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.  
Колесник В.Є. – д.т.н., проф.

## Адреса редакції:

49005, Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19,  
НГУ, Ішкову В.В. тел./ факс 726-77-04,  
46-90-92, E-mail: zberovskya@mail.ru

## Требования к оформлению статей в «Сборник научных трудов НГУ»

### Требования к оформлению статей для опубликования в «Сборник научных трудов НГУ»

С учетом нормативных требований к оформлению печатных статей, рекомендаций Книжной Палаты Украины от 07.09.04 № 1291/11 и постановления ВАК Украины от 21.03.2008 № 1-04/5 «Про затвердження нових вимог до періодичних наукових фахових видань» к опубликованию в специализированном «Сборнике...» принимаются статьи, содержащие новые научные и практические результаты исследований авторов, которые ранее не публиковались и отвечают профилю «Сборника...». Структура научной статьи должна содержать следующие элементы: постановка проблемы; анализ последних достижений и публикаций, в которых заложено решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья; формулирование целей статьи (постановка задачи); изложение основного материала исследований с полным обоснованием полученных научных результатов; выводы по данному исследованию; список использованных источников.

Рекомендуемая структура статьи:

- **вступление** – постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими программами; анализ последних достижений и публикаций в которых заложено решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья (до 40 строк);
- **формулирование целей статьи** (постановка задачи) (до 20 строк);
- **изложение основного материала исследований** с полным обоснованием полученных научных результатов (5-8стр.);
- **выводы** по данному исследованию с указанием новизны, теоретической и практической значимости полученных научных результатов, перспективы дальнейшего развития в данном направлении (до 30 строк);
- **список литературы** – ссылки на литературные источники (не более 5), как правило, приводятся во вступлении при анализе последних достижений и публикаций на которые опирается автор.

Текст статьи (на русском, украинском или английском языках) объемом 6-10 стр., включая таблицы, графики и рисунки, подается в редакцию на электронном носителе и с распечаткой 1 экз. на листах формата А4. Текст следует набирать шрифтом Times New Roman 14 пунктов в редакторе Microsoft Office Word, все поля по 2 см и оформить следующим образом:

- \* УДК – вверху слева, без отступов;
- \* Инициалы, фамилия автора – следующая строка, выравнивание по правому краю;
- \* Название статьи - заглавными буквами, жирно, выравнивание по центру; переносы и аббревиатура недопустимы;
- \* Аннотация (до 5 строк) на русском, украинском и английском языках, размер 12 пт, отступ первой строки 0,5 см ;
- \* Текст форматируется с выравниванием по ширине и междустрочным интервалом -1,0; отступ первой строки 1,2 см; абзацные отступы и интервалы – недопустимы; расстановка переносов автоматическая, номера страниц не проставляются.

\* *Простые формулы* в тексте набираются курсивом с помощью символов редактора Word, *сложные формулы* должны быть выполнены в приложении Equation Editor, соблюдая размеры, приведенные на рис. ⇨

\* Таблицы, графики и подписи к ним располагаются непосредственно в тексте и внедряются в документ как объекты, если они были созданы в Excel и др. приложениях.

\* Рисунки должны быть в черно-белом изображении и вставлены в текст в местах ссылки на них. Подписи рисунков имеют вид: Рис. 1. Схема...

\* Список литературы приводится в порядке ссылок в тексте, в соответствии с ДСТУ ГОСТ 7.1:2006, размером 12 пт.

Обычный	14 пт
Крупный индекс	12 пт
Мелкий индекс	11 пт
Крупный символ	16 пт
Мелкий символ	12 пт

### Образец набора

УДК 550.83

© И.В. Петрова

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРПАТ ИЗ КОСМОСА

Приведены результаты геологической дешифровки материалов космических геофизических съемок Карпат.

Наведено результати геологічного дешифрування матеріалів космічних геофізичних зйомок Карпат.

Results of geological photointerpretation of materials of space geophysical surveys of Karpat are considered.

По материалам космических геофизических съемок получают разнообразную геолого-геофизическую информацию .....

### Список литературы

1. Ландау Л.Д. Статистическая физика. Серия 1. Теоретическая физика. Т. V. –М.: Наука, 1979.-268 с.
2. Архипов Ю.Р. Программное обеспечение для обработки геофизической информации// Горный журнал.-2002.-№11.-С.10-15

В редакцию «Сборника...» необходимо подать:

1. Электронный вариант и распечатанную **справку об авторах**:

Фамилия, имя, отчество; место работы (полное название организации и её почтовый адрес); должность; ученая степень; номера контактных телефонов, E-mail.

2. **Экспертное заключение** о возможности опубликования материалов в открытой печати.

3. **Выписку** из протокола кафедры /лаборатории, отдела/ отражающую: общий характер статьи (работа фундаментального или прикладного значения, экспериментальная (результаты моделирования, данные промышленных испытаний...), теоретическая (описание нового метода расчёта...) и т.п.; соответствие материалов паспорту выбранной специальности (шифр); личный вклад автора; новизну полученных результатов; рекомендации к публикации.

Телефоны для справок:

т. (0562) 46-90-92 **Ишков Валерий Валерьевич** - гл. редактор

т. (067) 636-16-18 **Зберовский Александр Владиславович**

## О МИНЕРАЛЬНОМ СОСТАВЕ УРОЛИТОВ ЖИТЕЛЕЙ ГОРОДА ДНЕПРОПЕТРОВСКА

Приведены первые результаты минералого-петрографических и рентгеноструктурных исследований минерального состава уролитов жителей города Днепропетровска..

Наведено перші результати мінералого-петрографічних і рентгеноструктурних досліджень мінерального складу уролітів мешканців міста Дніпропетровська..

The first results of mineralogical and petrographic and X-ray studies of mineral composition of uroliths residents Dnepropetrovsk.

**Актуальность.** Определение минерального состава и структуры уролитов необходимо врачам урологам для обоснованного и объективного назначения лечебных и профилактических действий пациенту. Существующие украинские и мировые стандарты диагностики и лечения больных уролитиазом предусматривают обязательное минералогическое исследование уролита для каждого больного.

В то же время сейчас в Украине выполнение подобных исследований к сожалению носит инициативный и эпизодический характер, что приводит к росту количества заболеваний и их тяжести.

Вопросы изучения уролитов относятся к категории междисциплинарных исследований, они находятся на стыке двух наук – биоминералогии и урологии.

**Последние достижения.** Весьма значительная по объёму и глубине проработки информация об изучении органо-минеральных агрегатов в организмах и растениях приведена в работах А.А. Кораго [5], О.А. Головановой [1], Ф.В. Зузука [3] и других исследователей.

В литературе отмечалось [6], что биоминералогия, как наука развивается достаточно медленно. Это объясняется тем, что объекты изучения биоминералогии представляют собой довольно сложные органо-минеральные образования.

В Украине первые минералого-петрографические исследования уролитов проводились в середине 70-х годов прошлого века на кафедре минералогии и петрографии Национального горного университета, а в 1979 году опубликована первая статья по этой теме [2].

В 1976 году А.А. Кораго [4] сформулировал основные особенности объектов исследования биоминералогии. Впоследствии Н.П. Юшкин [8] предложил выделить особую область исследований и назвать её медицинской минералогией. Было рекомендовано отнести к этой области исследований проблемы изучения конструктивных и патологических минералов, а так же и минералообразующих процессов в организме человека.

**Объектом** исследования являлись уролиты извлеченные у больных жителей г. Днепропетровска, прооперированных в урологическом центре областной клинической больницы им. И.И. Мечникова.

**Целью** данной работы является исследование особенностей минерального состава уролитов.

**Методика работы.** Результаты определения состава уролита должны являться обязательным компонентом алгоритма диагностики и лечения пациентов с мочекаменной болезнью, несмотря на трудоемкость исследования [5]. Примером может служить решение вопроса о выборе терапии при сочетании инфекции мочевыводящего тракта и мочекаменной болезни. В этом случае без анализа уролита невозможно установить первичность инфекции по отношению к литогенезу. В случае, если основой уролита является струвит, причиной камнеобразования будут являться уреазопродуцирующие микроорганизмы; если же уролит состоит из других соединений, инфекцию следует рассматривать как осложнение мочекаменной болезни.

Изучение состава уролитов необходимо как для диагностики, так и для назначения адекватной схемы консервативного и оперативного лечения мочекаменной болезни, особенно в случаях наследственного и рецидивного камнеобразования. Существующие мировые стандарты диагностики и лечения больных уролитиазом предусматривают обязательное исследование уролита для каждого больного.

На первом этапе изучались внешние макроскопические признаки уролита (цвет, форма, размер) и анализировалась морфология поверхности. Морфологию и минеральный состав уролита на этом этапе изучали с помощью кристалломорфологического метода на бинокулярном микроскопе МБС-10.

На втором этапе, используя поляризационно-оптический метод, детализировали минеральный состав уролита и оценивали взаимоотношения между отдельными зернами минералов. Для этого готовили шлифы, которые исследовали на поляризационном микроскопе МИН 8.

При выявлении сложного состава вещества и проблем в его диагностике исследование дополняли результатами рентгеновского фазового анализа, позволяющего на основе дифракции провести качественный и количественный анализ поликристаллических материалов с определением их составляющих.

**Изложение результатов.** Минеральный состав изученных уролитов очень разнообразен. Преобладают полиминеральные образования, мономинеральные отмечены только в одном случае. В исследованных образцах чаще всего встречаются различные комбинации из оксалатов, фосфатов, уратов, органического вещества, в единичных случаях отмечены пурины (ксантин). По структурным и минералогическим особенностям в уролитах обычно выделяют центральную и периферийную часть.

Вевеллит наблюдался как в центральной части образцов, так и на их периферии. обычно встречается в виде комбинации двух моноклинных призм  $\{110\}$  и  $\{011\}$ , изредка в сочетании с пинакоидом.

Наши исследования показали, что некоторые грани кристаллов обладают выпуклостью (кривогранностью), вызванной комбинацией определенного количества призм, о чем может свидетельствовать также штриховка на гранях кристалла.

В шлифах кристаллы вевеллита часто имеют резко выраженную игольчатую и ромбовидную форму с углами между сторонами ромба  $40^\circ$ – $60^\circ$  и  $140^\circ$ – $120^\circ$ . Обычно эти углы составляют, соответственно,  $50^\circ$  и  $130^\circ$ .

Для вевеллита характерны двойники срастания по  $\{101\}$  с отчетливо выраженным двойниковым швом; при наблюдении в шлифах под микроскопом установлено, что угол погасания каждой половины двойника относительно шва двойникового составляет от  $7^\circ$  до  $12^\circ$ . Минерал обладает интерференционной окраской: темно-красной, ярко-желтой, зеленой, голубой, что отличает его от веддилита, имеющего бледно-желтую до серой окраску (рис. 3.3, рис. 3.4, рис. 3.5). Для вевеллита под поляризационным микроскопом в кристаллах часто отмечается зональность роста.

Размеры отдельных зон колеблются от 5–10 мкм до 0,5 мм. Границы между зонами отмечаются тонкими сплошными линиями (микрослоями), которые нередко прерываются, а иногда выглядят в виде цепочек, состоящих из мельчайших шарообразных частиц темного цвета. Эти частицы представлены органическим веществом, которое в процессе роста оседает на поверхности граней растущего кристалла, подчеркивая, вероятно, временную приостановку роста кристалла.

Оксалаты (от греч. *oxalis* – щавель) – соли щавелевой кислоты, накопление которой в организме человека сопровождается оксалурией, развитием мочекаменной болезни.

Генетически обусловленное накопление щавелевой кислоты в результате нарушения обмена глицина приводит к наследственной болезни (оксалозу) и мочекиислому диатезу (поражению проксимальных канальцев почек, или тубулопатии – оксалурии). В таких случаях нередко кристаллы оксалата кальция обнаруживаются в костном мозге, миокарде, суставах, легких, печени, щитовидной железе, слизистой оболочке кишечника, в оболочках яичка.

Оксалаты содержатся во многих растениях, особенно высока их концентрация в щавеле, кислице, водорослях, папоротниках и лишайниках. В урологической практике оксалаты являются наиболее частой формой уролитов. Их образование связано с высокой концентрацией щавелевой кислоты в моче (суточное выделение щавелевой кислоты с мочой здорового взрослого человека составляет 10–20 мг).

Оксалаты состоят в основном из гидрооксалата и дигидрооксалата кальция. В небольших количествах оксалаты кальция выделяются с желчью. Оксалаты образуются при pH мочи 5,1–5,9.

Появление оксалатов кальция в анализе мочи – результат нарушения обмена солей щавелевой кислоты, сопровождающееся ее повышенным образованием или поступлением в организм (например, при избыточном поступлении синтетической аскорбиновой кислоты (витамин С) или продуктов, содержащих щавелевую кислоту. Наличие таких включений в лоханках почек – это результат солевого диатеза, хронического пиелонефрита или цистопиелита, при этом развивается хроническая почечная недостаточность.

Образование уrolитов из щавелевой кислоты и кальция в виде кристаллов оксалатов кальция происходит при частых стрессовых ситуациях, когда почкам не хватает жидкости для удаления солей из сыворотки крови. Для образования кристаллов оксалатов кальция в почках необходима слабокислая реакция мочи (рН 5,8–6,8). Такая кислотность мочи встречается наиболее часто и почти половина всех уrolитов в мочевыделительной системе содержат оксалаты кальция или оксалаты магния. Дальнейшее снижение рН мочи может привести к появлению в почках комбинации оксалатов кальция и уратов.

Конкременты оксалатного состава, имеющие коралловидную или друзовую форму, не могут самостоятельно выйти естественным путем, как это происходит с уратами. Оксалаты кальция чаще определяют в лоханках почек.

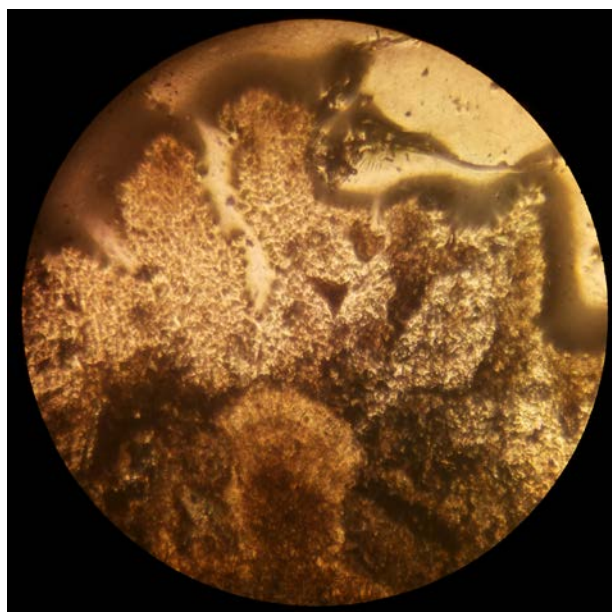
Среди фосфатной группы минералов наиболее распространён гидроксил апатит. В янокристаллической форме он встречается редко, обычно наблюдается как криптокристаллический (аморфный) минерал (коллофан). Он образует гелеобразные линзы и прожилки (рис. 3.8, рис. 3.9, рис. 3.10), очень редко сноповидные агрегаты сильно вытянутых игольчатых кристаллов. Как правило коллофан развит в центральной части образца и окаймляет «органические карманы».

Уратные соединения представлены мочевой кислотой и её дигидратом. Мочевая кислота обычно наблюдается в виде длинно призматических кристаллов жёлтого и белого цвета, образующих радиально-лучистые агрегаты и отдельные кристаллы. Ураты наблюдались как в центральной, так и в периферийной части образцов.

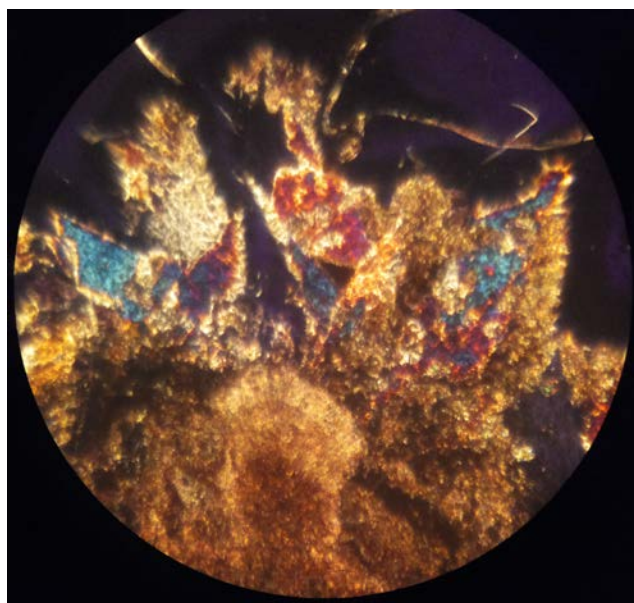
Отдельные кристаллы нередко протягиваются от центра камня до его поверхности. В центральной части образцов кристаллы мочевой кислоты часто расщепляются и характеризуются зональным строением (рис. 3.6, рис. 3.7, рис. 3.8). По своей распространенности в составе исследованных уrolитов мочевая кислота и её дигидрат занимают второе место после оксалатов.

Пурины в виде ксантина были встречены в виде многочисленных включений в кристаллах мочевой кислоты только в одном образце. (рис. 3.11 и рис. 3.12). Вообще, ксантин в уrolитах встречается очень редко. Он образуется вследствие врожденного дефекта фермента ксантинооксидазы, наследуемого аутосомно – рецессивно. Из за этого он не может превращаться в мочевую кислоту.



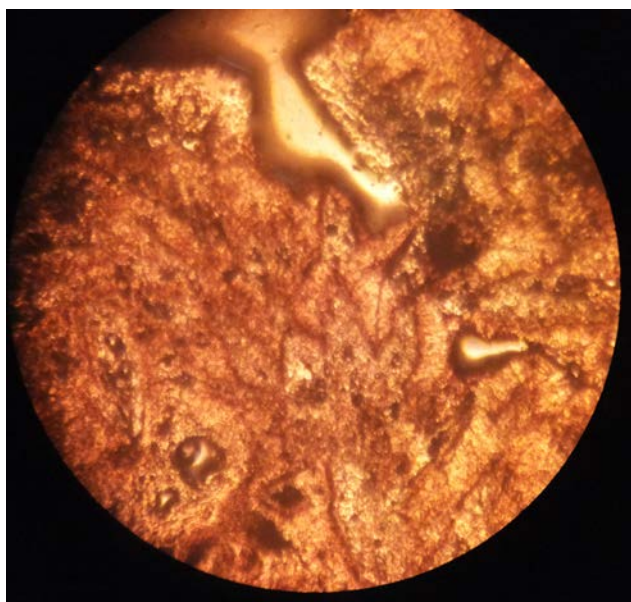


а

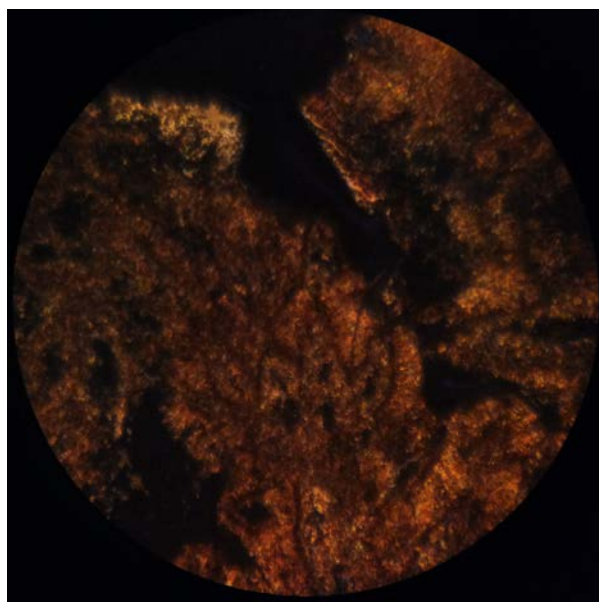


б

Рис. 1. Периферийная часть образца. Концентрически зональный агрегат веддилита с наросшим на него хлопьевидным агрегатом вевеллита содержащим отдельные кристаллы мочевой кислоты, а – простой, б - поляризованный проходящий свет.

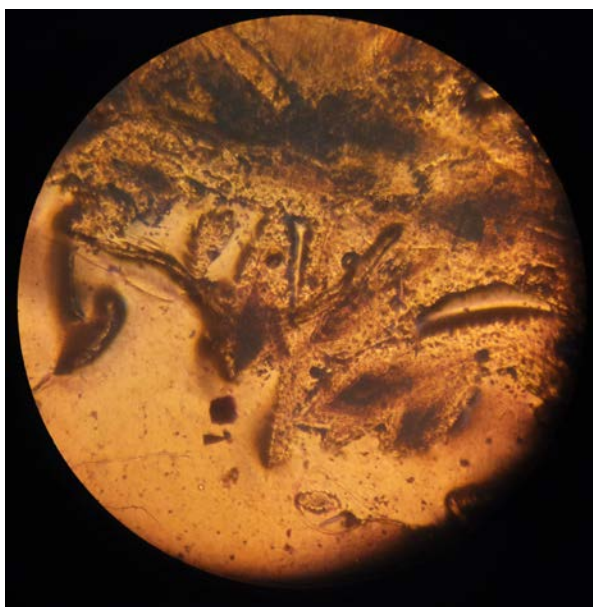


а

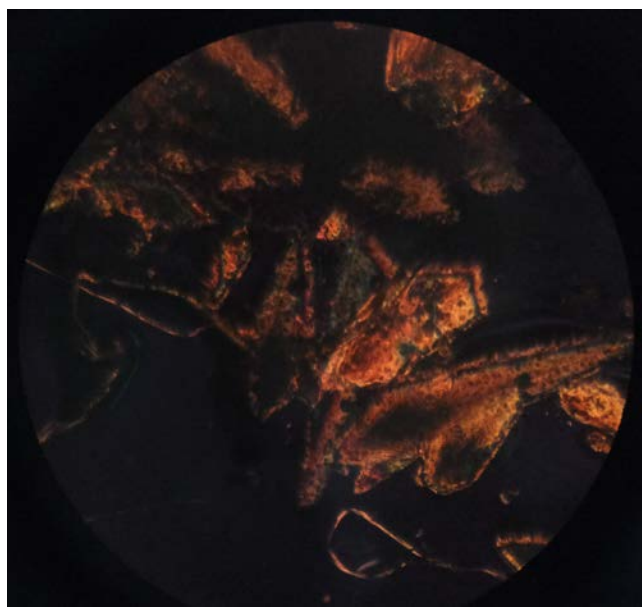


б

Рис. 2. Центральная часть образца. «Лепестковые» криптокристаллические агрегаты веддилита с апатитом на границе «органического кармана», а – простой, б - поляризованный проходящий свет.

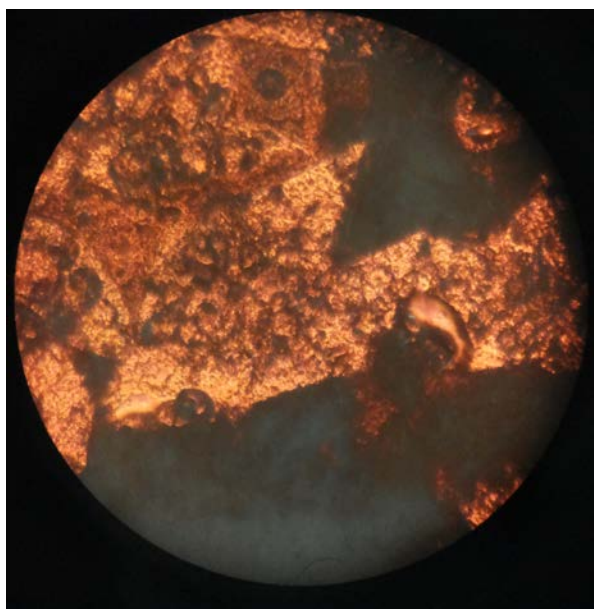


а

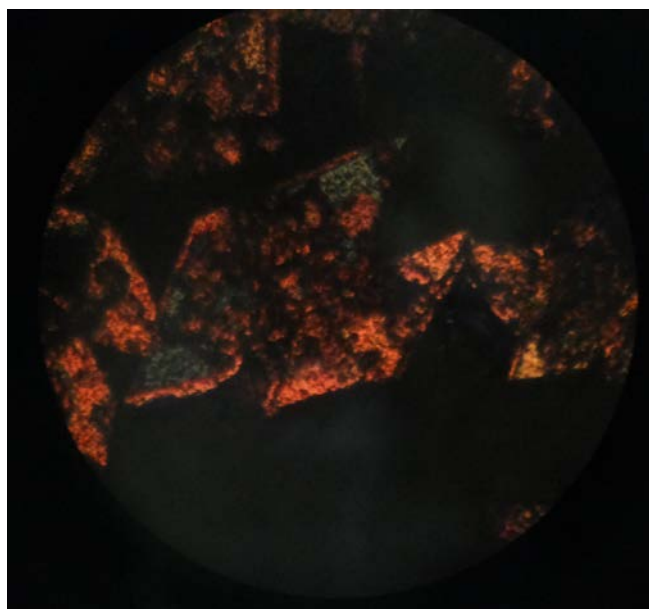


б

Рис. 3. Периферийная часть образца. Расщепленный кристалл мочевой кислоты., а – простой, б - поляризованный проходящий свет.

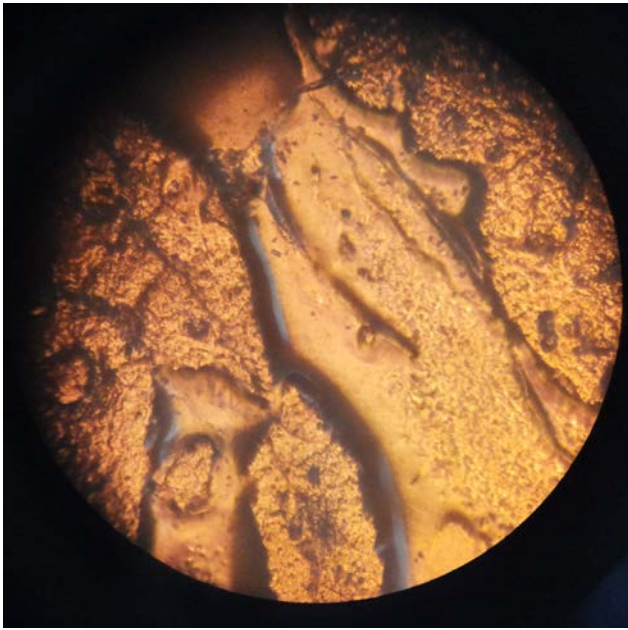


а

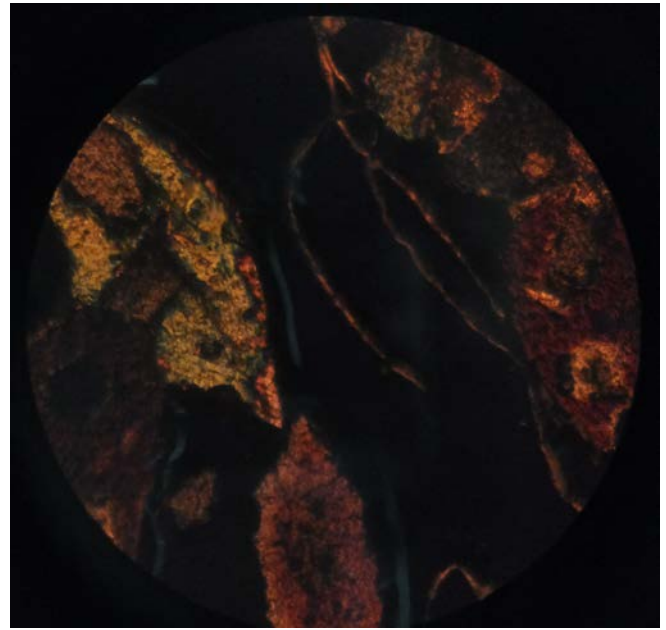


б

Рис. 4. Центральная часть образца. На рисунке виден субпараллельный сrostок зональных кристаллов мочевой кислоты с тонкой каймой дигидрата мочевой кислоты в «органическом кармане», а – простой, б - поляризованный проходящий свет.



а

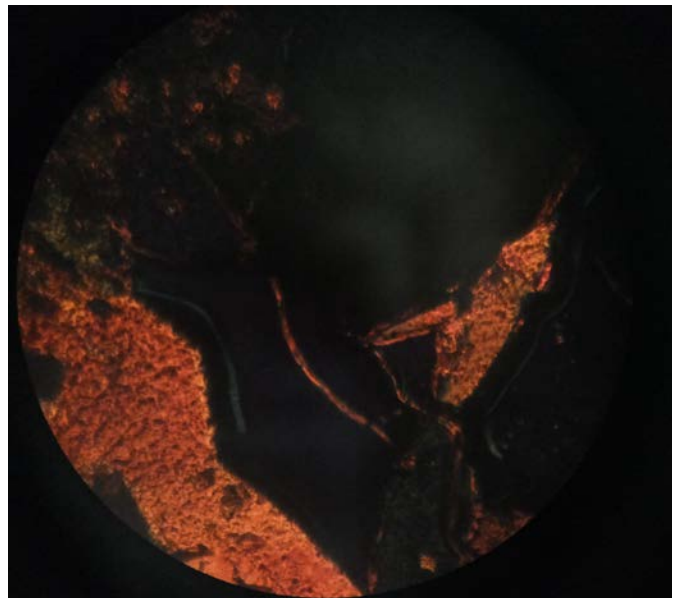


б

Рис. 5. Центральная часть образца. Прожилки апатита в агрегате кристаллов мочевой кислоты, а – простой, б - поляризованный проходящий свет.



а



б

Рис. 6. Центральная часть образца. Образование апатита на границе «органического кармана», а – простой, б - поляризованный проходящий свет. Увеличение 100

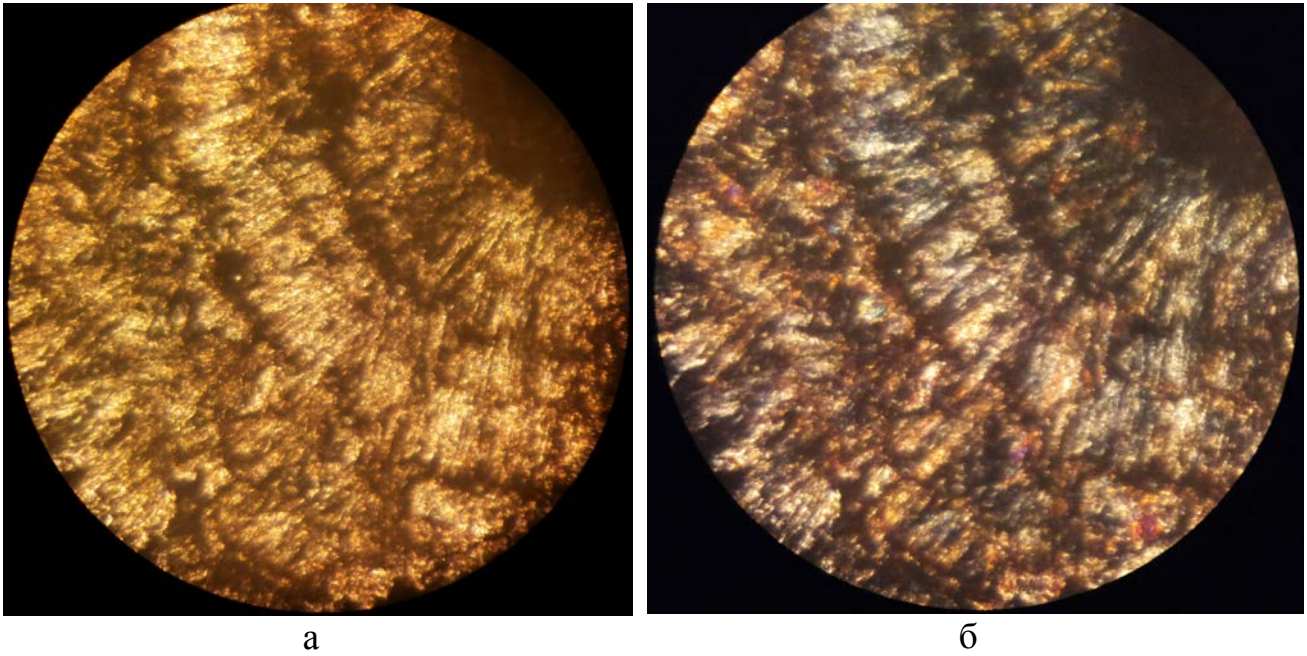


Рис. 7. Внешняя зона образца. Концентрически-лучистое и зональное строение псевдооолитов вевделита, разделенное узкими темными прослоями вевеллита и органики, а – простой, б - поляризованный проходящий свет.

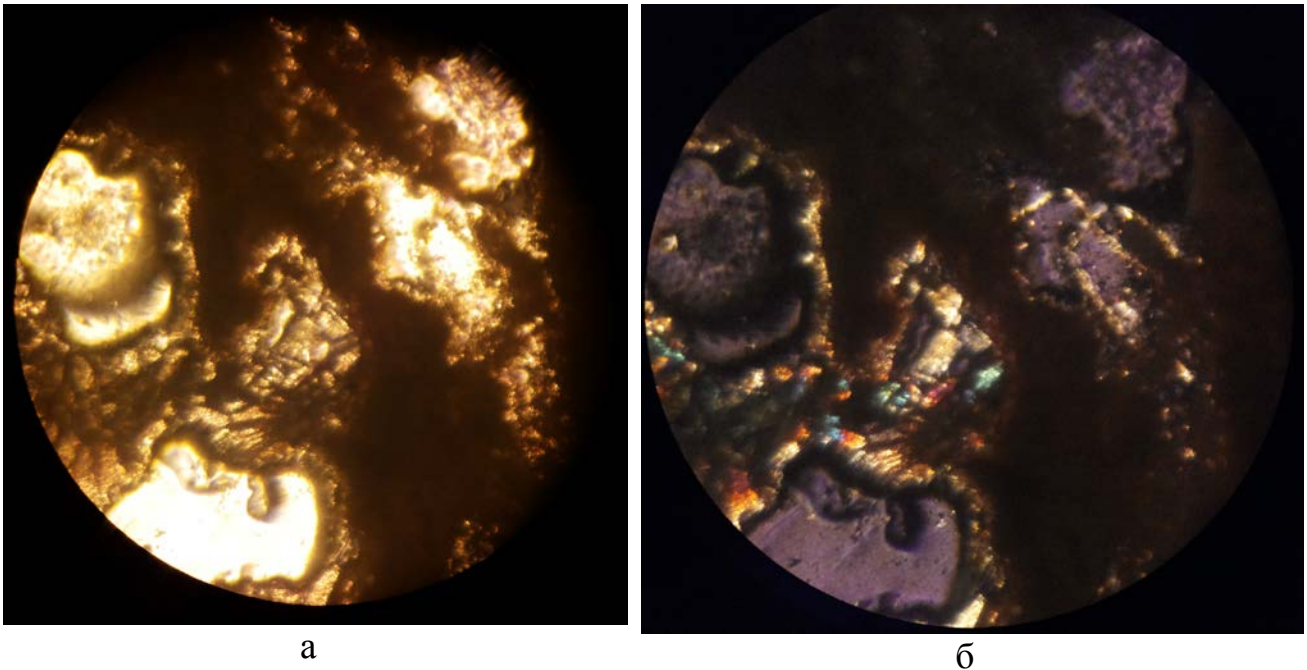


Рис. 8. Центральная зона образца. Многочисленные мелкие «карманы» с органикой и криптокристаллическим апатитом, а – простой, б - поляризованный проходящий свет.

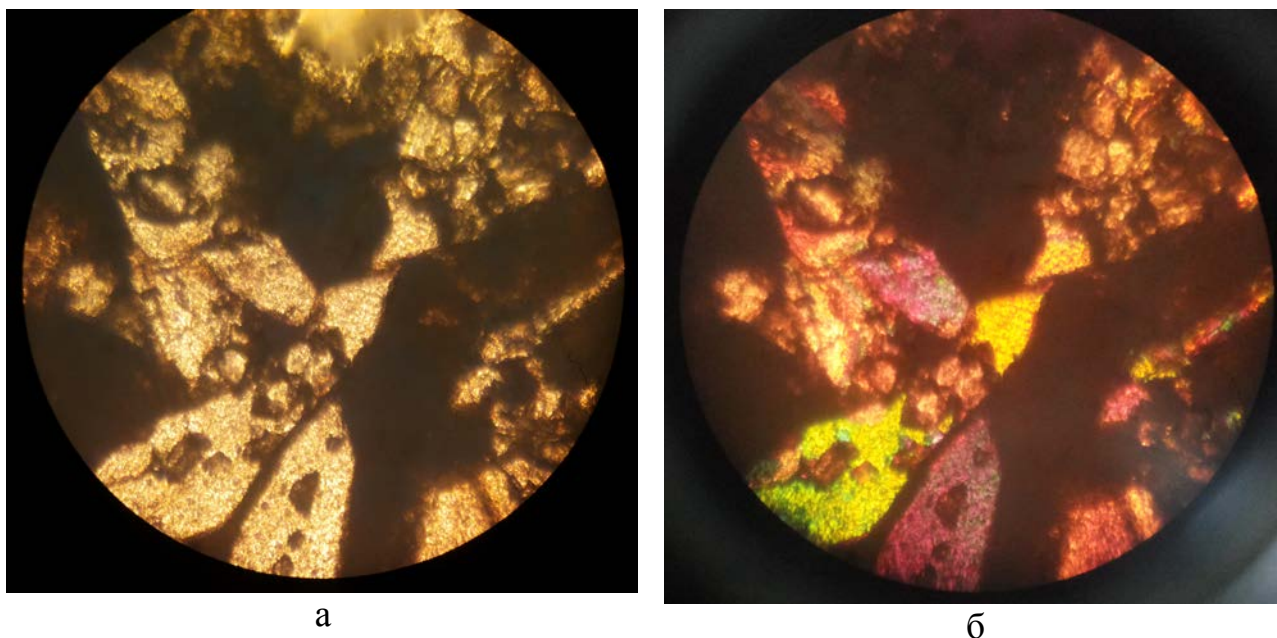


Рис. 9. Центральная часть образца. На рисунке видны расщепленный кристалл мочевой кислоты и многочисленные включения ксантина в кристаллах мочевой кислоты, а – простой, б - поляризованный проходящий свет.

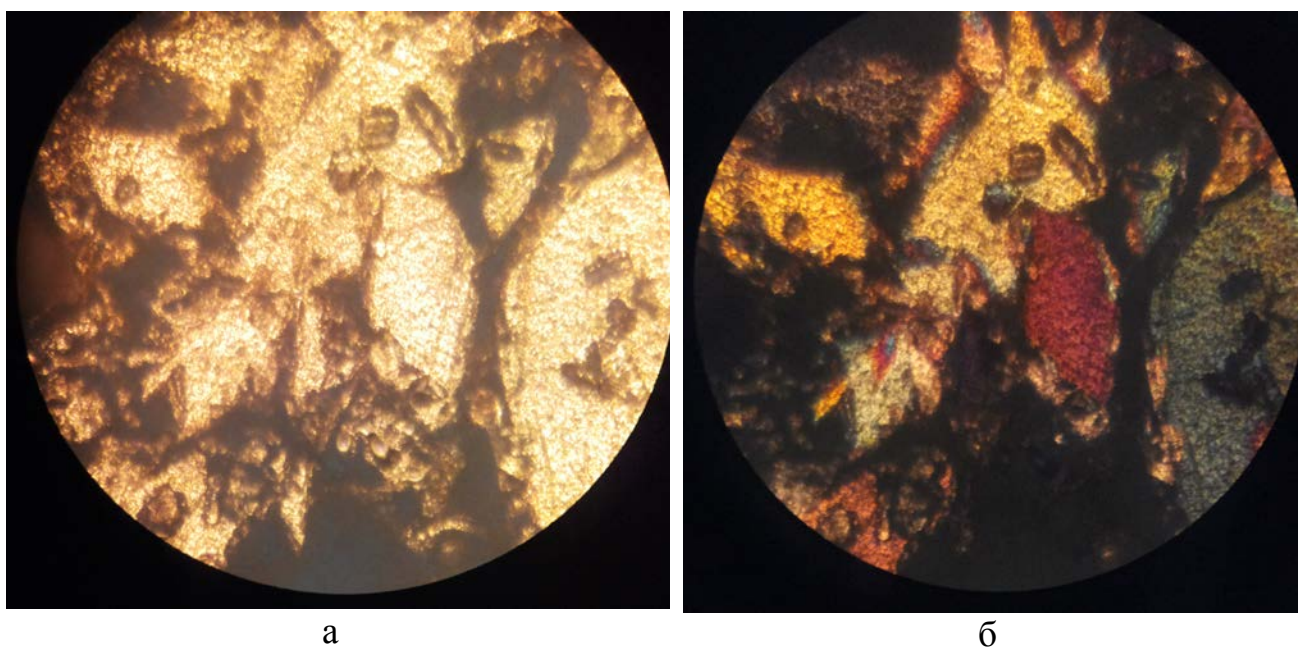


Рис. 10. Центральная часть образца. На рисунке виден скипетровидный кристалл дигидрата мочевой кислоты с включениями ксантина. Наглядно проявлено блочное строение кристаллов дигидрата мочевой кислоты, а – простой, б - поляризованный проходящий свет.

Выполненные исследования позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. В составе изученных уrolитов жителей города Днепропетровска преобладают полиминеральные образования, мономинеральные отмечены только в одном случае. В исследованных образцах чаще всего встречаются различные комбинации из оксалатов (вевеллит, веддилит), фосфатов (в основном гидроксил апатит – коллофан), уратов (мочевая кислота, дигидрат мочевой кислоты), органического вещества, в единичных случаях отмечены пурины (ксантин).

2. Во всех исследованных образцах наблюдаются те или иные дефекты слагающих их минералов. Вероятно, для минералов уrolитов расщепление, двойникование, ярко выраженная зональность, блочность строения и другие структурные дефекты кристаллов не исключение, а правило. Это объясняется тем, что мельчайшие фрагменты органического вещества закрепляются на поверхности и захватываются в процессе роста кристаллов, что приводит к нарушению связей внутри кристаллической решетки, нарушениям ее геометрической формы и в целом, резкому снижению общей симметрии формы минерально-органических агрегатов.

#### Список литературы

1. Голованова О.А., Россеева Е.В., Франк-Каменецкая О.В. Аминокислотный состав камней мочевой системы человека // Вестник СПбГУ. Сер. 4. 2006. Вып. 2. – С. 123–127.
2. Доморацкий Н.А., Агафонов Н.В., Куцевол Л.И. Минеральный состав мочевых конкрементов // 8 Научно практическая конференция урологов Днепропетровской области. – Днепродзержинск, 1979. – С. 57 – 68.
3. Зузук Ф.В. Внутреннее строение почечных камней, состоящих из аморфного органического вещества, содержащего фосфаты // Уральский геологический журнал. 2001. № 2(20). – С. 117–124.
4. Кораго А.А. Жемчуг Северо-Запада СССР / Зап. Всесоюз. минерал. о-ва, 1976, ч. 105, вып. 3, с. 282—294.
5. Кораго А.А. Введение в биоминералогию // СПб: Недра, 1992. – 280 с.
6. Мак-Коннелл Д. Биоминералогия фосфатов и физиологическая минерализация. Фосфор в окружающей среде // М.: Мир, 1977. – С. 462–481.
7. Ракин В.И., Каткова В.И. Кристаллизация одноводного оксалата кальция (вевеллита) в гелевой среде // Минералогия и жизнь: Материалы к Межгосударственному минералогическому семинару. Сыктывкар, 1993. – С. 54–55.
8. Юшкин Н.П. Теория и методы минералогии. – Л.: Недра, 1977. – 290 с.

*Рекомендовано до публікації д.г.н. Барановим П.М.  
Надійшла до редакції 24.01.2015*

## ОСОБЕННОСТИ МАКРОНАРУШЕННОСТИ В ОСАДОЧНЫХ ПОРОДАХ

Представлены данные исследования деформаций в породах среднего карбона Донбасса. Проведен анализ изменения трещиноватости по расстоянию между трещинами в известняках и песчаниках в стратиграфическом интервале разреза.

Представлено дані дослідження деформацій у породах середнього карбону Донбасу. Проведено аналіз зміни тріщинуватості за відстанню між тріщинами у вапняках і пісковиках у стратиграфічному інтервалі розрізу.

The data of the investigation of deformation in rocks of Middle Carboniferous Donets Basin are presented. The analysis of change fracturing on the distance between the cracks in limestones and sandstones in the stratigraphic interval of cross-section is conducted.

**Вступление.** В образовании полезных ископаемых, таких как нефть, газ, уголь, ведущую роль играет макронарушенность. Следствием ее участия в этих процессах является образование трещиноватости, которая может выражаться в виде крупноамплитудных, среднеамплитудных и малоамплитудных нарушений. Она определяет степень трещиноватости массива, а следовательно, приток в скважины, например, нефти и газа, устойчивости горных выработок при разработке рудных и пластовых залежей подземным способом.

Особое значение при формировании горно-геологических условий месторождений приобретают различные по форме и значению виды макронарушенности, образование неравномерного напряженного состояния отдельных блоков и участков горного массива, развитие зон разуплотнения и сжатия, перераспределение подземных вод и газов. Вскрытие горными выработками участков осложненных макронарушенностью (трещиноватостью), как правило, приводит к негативным явлениям – вывалам и обрушениям кровли, прорывам воды и газа, суфлярам, выбросам угля и пород, которые создают реальную опасность для работающих в шахте людей.

В настоящее время развивается множество направлений по разработке конкретных методов прогноза макронарушенности, прежде всего в геологии угольных месторождений. По методам исследований, исходным посылкам и средствам достижения целей их в общем виде с некоторыми допущениями можно объединить в три группы: тектонофизическое и физико-математическое моделирование; документация и исследование кернов, разрезов, обнажений, стенок горных выработок; геофизическое комплексирование различных методов.

**Цель работы.** Исследовать деформации в породах среднего карбона Донбасса, и определить по расстоянию между трещинами в известняках и песчаниках изменение трещиноватости в стратиграфическом интервале.

**Изложение основного материала исследований.** О трещиноватости карбоновых пород Донбасса имеется много работ. Но изучению трещиноватости в региональном и локальном плане относительно литолого-структурного формирования трещин не уделялось должного внимания, тогда как выявление закономерностей развития и распространения их

позволило бы обосновать прогноз зон формирования трещиноватости и связанного с ними выделения метана в горные выработки, газоносности трещиноватых пород и ряд других явлений. Так, в работе [1] авторы отмечают, что глубины развития открытой трещиноватости колеблются в пределах 500 – 800 м и зависят от степени катагенеза и дислоцированности пород, исходя из имеющихся данных.

Следует отметить, что многие исследователи приходят к одному выводу, что с увеличением глубины формирование трещиноватых зон возрастает [1-5].

В качестве примера приведем результаты исследований, приведенные в работе [6]. Рассмотрим изменение расстояния между трещинами в известняках и песчаниках.

В известняках трещиноватость хорошо выдержана и прослеживается на значительные расстояния. Она расположена перпендикулярно к наложению или близко к нему – отклонения не превышают 5 – 10 градусов.

Пласты известняков часто неоднородны. Обычно они состоят из чередующихся слоев прочных карбонатных пород и тонких прослоев глинистых, реже песчано-глинистых пород. Известняки нижней части угленосной толщи Донбасса (средний отдел каменноугольного периода) обычно небольшой мощности и простого строения. Пласты известняков верхней части угленосной толщи, как правило, имеют значительную мощность и сложное строение – состоят из нескольких прослоев известняка, разделенных глинистыми, реже песчано-глинистыми породами и даже углем (пласты известняков М<sub>5</sub> и М<sub>9</sub>).

Установлена связь плотности трещиноватости в пластах известняков с их строением, морфологическими и текстурно-структурными особенностями. Эта связь заключается в том, что усложнение строения пласта, резкое изменение его морфологии (уменьшение или увеличение мощности), преобладание более мелких гранулометрических фракций, детритусовых частиц и, в целом, более мелкозернистое строение, как правило, сопровождается увеличением плотности трещиноватости.

Данные по изменению расстояния между трещинами в известняках угленосной толщи Донбасса в стратиграфическом интервале, представлены на рисунке 1.

Анализ данных показанных на рисунке 1, позволяет сделать следующие выводы:

1. Максимальное расстояние между трещинами в известняках приурочено к стратиграфическому интервалу С<sub>2</sub><sup>7</sup>;
2. Минимальное значение расстояния между трещинами в известняках приурочено к стратиграфическому интервалу С<sub>2</sub><sup>4</sup>;
3. Расстояние между трещинами в известняках снижается в стратиграфическом интервале от С<sub>2</sub><sup>7</sup> до С<sub>2</sub><sup>4</sup>, что свидетельствует об увеличении плотности трещиноватости с глубиной, т.е. трещиноватость увеличивается с глубиной.

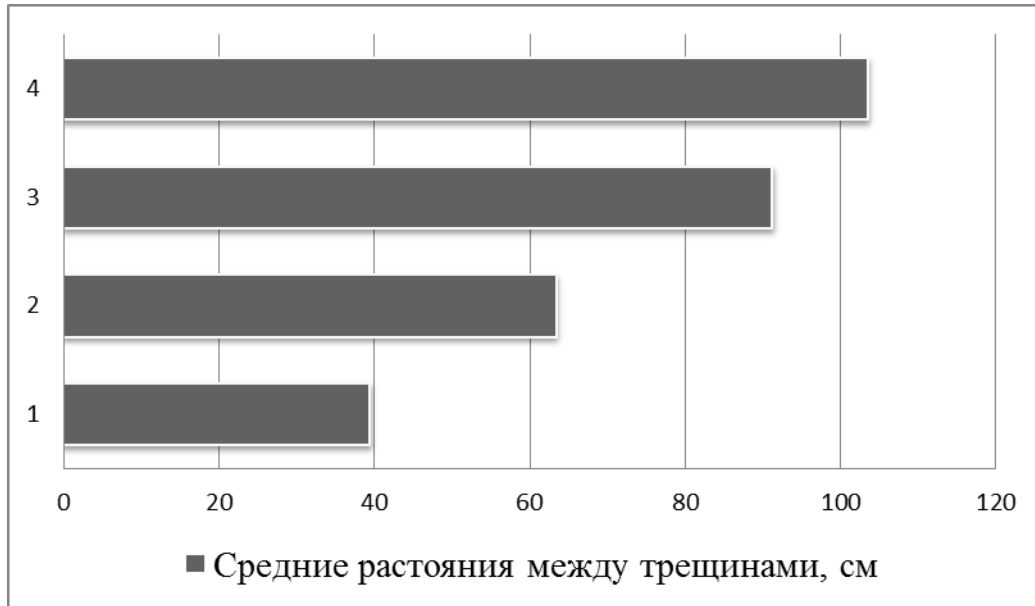
Песчаники являются широко распространенным типом пород угленосных отложений Донбасса. Морфология тел песчаников чрезвычайно разнообразна. Они слагают линзы, отдельные прослои и тонкие пласты, целые серии пластов значительной мощности. По гранулометрическому составу песчаники углевмещающей толщи подразделяются на крупно-, средне- и мелкозернистые. Песчаники Донбасса различаются значительным разнообразием текстурных и структурных признаков, минералогическим составом. По фациальным условиям образования углевмещающие песчаники относятся к двум основным типам: прибрежно-морским и русловым.

В шахтах трещиноватость песчаников наиболее хорошо проявляется в очистных выработках за пределами рабочего пространства. Наряду с этим известны многочисленные случаи раскрытия трещин и аварийных обрушений песчаников с повышенной трещиноватостью или неправильным положением линии очистного забоя по отношению к направлению преобладающей системы трещин. Подобные явления наблюдаются и в кровле подготовительных выработок. С интенсивно трещиноватыми русловыми песчаниками связаны обильные водопритоки в горные выработки. Игнорирование особенностей трещиноватости зачастую может привести не только к значительным технологическим трудностям, непроизводительным затратам и потере угля в недрах, но и к трагическим последствиям.

Следует отметить, что связь плотности трещиноватости со строением пластов, морфологическими и структурными особенностями песчаников состоит в том, что усложнение строения, резкое изменение мощности пласта, преобладание плохо отсортированных частиц сопровождается увеличением трещиноватости.

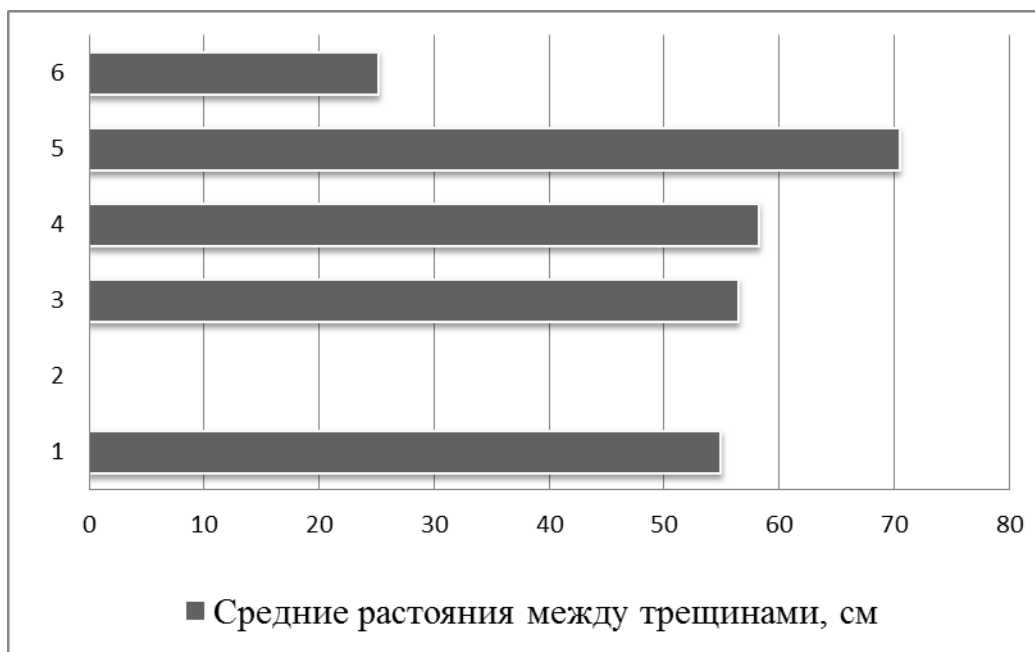


Данные по изменению расстояния между трещинами в песчаниках угленосной толщи Донбасса в стратиграфическом интервале, представлены на рисунке 2.



1 –  $C_2^4$ , 2 –  $C_2^5$ , 3 –  $C_2^6$ , 4 –  $C_2^7$

Рис.1. Изменение расстояния между трещинами в известняках угленосной толщи Донбасса в стратиграфическом интервале



1 –  $C_2^3$ , 2 –  $C_2^4$ , 3 –  $C_2^5$ , 4 –  $C_2^6$ , 5 –  $C_2^7$ , 6 –  $C_3^1$

Рис.2. Изменение расстояния между трещинами в песчаниках угленосной толщи Донбасса в стратиграфическом интервале

Анализ данных, показанных на рисунке 2, позволяет сделать следующие выводы:

1. С увеличением степени катагенеза расстояние между трещинами в песчаниках уменьшается и, по-видимому, не зависит от их гранулометрического состава и фациальной принадлежности.

2. Наблюдается резкий переход между расстояниями трещин на границе верхнего и среднего карбона.

3. На общем фоне в стратиграфическом интервале среднего карбона, между свитами  $C_2^7$  и  $C_2^3$ , наблюдается тенденция уменьшения расстояния между трещинами в песчаниках, что свидетельствует об увеличении плотности трещиноватости, т.е. возрастании трещиноватости с глубиной.

**Выводы.** В результате исследований деформаций в породах среднего карбона Донбасса было определено, что максимальные расстояния между трещинами в известняках приурочены к стратиграфическому интервалу  $C_2^7$ ; минимальные значения расстояний между трещинами в известняках приурочено к стратиграфическому интервалу  $C_2^4$ . Расстояния между трещинами в известняках снижается в стратиграфическом интервале от  $C_2^7$  до  $C_2^4$ , что свидетельствует об увеличении плотности трещиноватости с глубиной, т.е. трещиноватость увеличивается со стратиграфической глубиной.

С увеличением степени катагенеза расстояние между трещинами в песчаниках уменьшается и по предварительным данным не зависит от их гранулометрического состава и фациальной принадлежности. Наблюдается существенный скачок значений расстояний между трещинами на границе верхнего и среднего карбона. На общем фоне в стратиграфическом интервале среднего карбона, между свитами  $C_2^7$  и  $C_2^3$ , наблюдается тенденция уменьшения расстояния между трещинами в песчаниках, что свидетельствует об увеличении плотности трещиноватости, т.е. возрастании трещиноватости с глубиной.

#### Список литературы.

1. Панасенко, Г.П. О методике изучения трещиноватости в горных выработках угольных шахтах Восточного Донбасса / Г.П. Панасенко, В.Ф. Макляк // Лутугинские чтения: Тезисы докладов 3-й Геол. конференции. - Луганск, 1969. – С. 87 – 89.
2. Лисиця, В.Є. Особливості тектоніки та прогноз малоамплітудної порушеності шахтних полів Селезнівського геолого-промислового району Донбасу: автореферат дис. ... канд. геол. наук: 04.00.16 / В.С. Лисиця. - Дніпропетровск, 2005. - 18 с.
3. Смородин, Г.М. Разрывные нарушения в пределах Ровенецкого поднятия в Донбассе / Г.М. Смородин // Уголь Украины. – 1984. - №4. - С. 36 – 37.
4. Ващенко, В.И. Прогноз нарушенных зон угольных пластов с литологически неоднородной почвой / В.И. Ващенко // Уголь Украины. – 1988. - №2. - С. 38 – 39.
5. Нагорный, Ю.Н. Прогноз степени нарушенности пластов малоамплитудными разрывами на глубоких горизонтах / Ю.Н. Нагорный, А.А. Бельгард, В.Н. Нагорный // Уголь Украины. – 1984. - №4. – С. 36 – 37.
6. Ишков, В.В. Трещиноватость углевмещающих пород Донбасса / В.В. Ишков. – Днепропетровск.: ГГАУ, 1995. – 156 с.

*Рекомендовано до публікації д. геол. н. Приходченко В.Ф.  
Надійшла до редакції 24.01.2015*

## ДО ПИТАННЯ КОМПЛЕКСУВАННЯ ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДІВ В ЕКОЛОГІЧНОМУ МОНІТОРИНГУ ТЕРИТОРІЙ, ПРИЛЕГЛИХ ДО СХОВИЩ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ

Представлені особливості комплексування геолого-геофізичних методів для вирішення основних та спеціалізованих задач моніторингу геоecологічного впливу сховищ відходів на геологічне середовище на різних етапах функціонування цих об'єктів. Розроблено методіку обґрунтування вибору конкретних ділянок ефективного застосування вказаних методів.

Представлены особенности комплексирования геолого-геофизических методов для решения основных и специализированных задач мониторинга геоecологического влияния хранилищ отходов на геологическую среду на различных этапах функционирования этих объектов. Разработана методика обоснования выбора конкретных участков эффективного использования указанных методов.

The integration features of geological-geophysical methods for the decision of the basic and specialized tasks of monitoring of geoecological influence of waste storage on geological environment at different stages of functioning of these objects are presented. The technique of substantiation of choice of concrete sites of effective use of these methods is developed.

**Вступ.** Економічне зростання України як стабільної незалежної держави досягається зокрема збільшенням об'ємів видобутку та переробки корисних копалин. При цьому особливу важливість набуває створення багаторівневої комплексної системи екологічного моніторингу геологічного середовища для наступного впровадження ефективних технологій зниження об'ємів утворення відходів на всіх стадіях промислового циклу, покращення процесів їх утилізації та поховання.

На сьогоднішній день Україна є учасником понад 70 міжнародних багатосторонніх угод і конвенцій, виконання яких потребує оперативного отримання та використання інформації щодо геоecологічного стану навколишнього природного середовища та прогнозування його змін. Сучасний розвиток системи екологічного моніторингу в Україні потребує урахування загальноєвропейських вимог та рекомендацій МАГАТЕ. Відповідно до Закону України «Про відходи», «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2020 року» та розпорядження Кабінету Міністрів України від 25.05.2011 № 577-р затверджено головний механізм реалізації Стратегії – Національний план дій з охорони навколишнього природного середовища на 2011-2015 роки, де визначено конкретні заходи поетапного досягнення стабілізації і поліпшення геоecологічного стану навколишнього природного середовища України. Але сучасна недостатньо налагоджена система контролю, переробки, утилізації відходів на всіх етапах технологічного процесу призводить до їх щорічного накопичення у верхній частині геологічного середовища, яка знаходиться під впливом багатьох природних факторів і може бути джерелом негативного впливу на розвиток господарської діяльності та здоров'я людини [1].

Розвиток використання геолого-геофізичних методів у вирішенні геоecологічних завдань (особливо у комплексному екологічному моніторингу)

обумовлений позитивним досвідом вирішення за допомогою цих методів значної кількості різноманітних інженерних та екологічних задач [2]. Разом із цим необхідне подальше вирішення питань визначення конкретних ділянок проведення моніторингових досліджень та особливостей комплексування в них геолого-геофізичних методів на різних етапах процесу функціонування промислових об'єктів (у т.ч. сховищ промислових відходів).

**Мета:** визначити комплекси геолого-геофізичних методів для вирішення задач екологічного моніторингу геологічного середовища на різних етапах функціонування сховищ промислових відходів та обґрунтувати вибір ділянок цих досліджень.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати існуючу геолого-геофізичну інформацію на території досліджень (наприкладі Середнього Придніпров'я);
- обґрунтувати комплексування геолого-геофізичних методів для вирішення задач екологічного моніторингу геологічного середовища на різних етапах (стадіях) функціонування;
- розробити методику обґрунтування вибору конкретних ділянок ефективного застосування геолого-геофізичних методів в екологічному моніторингу територій, прилеглих до техногенних об'єктів.

Характеристики, що визначаються експериментально: можливості геофізичних методів, потенційні напрямки геоекологічного впливу промислових об'єктів на верхню частину геологічного середовища (ВЧР) та ділянки комплексного геолого-геофізичного моніторингу.

**Комплексування геолого-геофізичних методів в екологічному моніторингу.** Складність вирішуваних завдань моніторингових досліджень і неоднозначність геоекологічної інтерпретації геофізичних даних призводять до необхідності комплексування різних методів, тобто використанню одного або декількох геофізичних методів в оптимальному поєднанні з геологічними, геохімічними, дистанційними методами, гірничо-буровими роботами. Необхідність комплексування обумовлена і економічними чинниками, оскільки різні методи дослідження характеризуються різною продуктивністю, трудомісткістю, достовірністю результатів і, відповідно, «вартістю» однакового обсягу геоекологічної інформації. Це можливо проілюструвати на прикладі визначення комплексу геолого-геофізичних методів для моніторингу геоекологічного впливу сховищ промислових відходів на навколишнє середовище. В процесі проведення цього моніторингу необхідно вирішити наступні задачі:

- дослідження структурно-тектонічної будови території для прогнозування потенційних шляхів розповсюдження небезпечного геоекологічного впливу (в т.ч. забруднення) цих об'єктів;
- дослідження просторової будови, речовинного складу та фізичних властивостей ВЧР, у т.ч. потужності осадового чохла та його окремих шарів, ділянок їх викликування, «літологічних вікон» тощо;

- дослідження гідрогеологічного розрізу, у т.ч. глибин залягання та мінералізації підземних водоносних горизонтів, напрямків та швидкостей фільтрації, області живлення, транзиту та розвантаження;
- контроль за просторовими параметрами ореолів (аномалій) хімічного та радіоактивного забруднення;
- дослідження розвитку екзогенних процесів в районі зазначених об'єктів, що можуть впливати на якість їх функціонування та просторове поширення хімічного та радіоактивного забруднення;
- визначення конкретних місць розташування захисних споруд сховищ відходів та контроль за їх цілісністю, визначення в них ділянок потенційного розповсюдження забруднення;
- визначення просторових особливостей, фізичного стану та властивостей відходів у сховищах.

На основі попередньо проведеного аналізу і фізико-геологічного моделювання сховищ радіоактивних відходів Середнього Придніпров'я [4] визначено, що одним з найбільш інтенсивних шляхів розповсюдження забруднення від сховищ відходів є підземні водоносні горизонти. На цьому прикладі можна конкретизувати перелік спеціалізованих задач екологічного моніторингу:

1. характеристика водоносних горизонтів (швидкість фільтраційного потоку, визначення гідравлічного зв'язку між горизонтами, уклін, мінералізація, глибина залягання), дослідження структури потоку, меж та геофільтраційних параметрів порід;
2. визначення областей живлення, транзиту та розвантаження підземних вод;
3. визначення будови та потужності зони аерації, зокрема, для планування захисних бар'єрів на сховищах;
4. просторова порівняльна оцінка гідрогеологічних умов (разом із дослідженнями інженерно-геологічних умов) при виборі ділянки будівництва сховища та його захисних споруд із визначенням глибини залягання техногенних і природних водоносних горизонтів та їх фонових (початкових) значень мінералізації;
5. визначення корозійних властивостей та інженерно-геологічних умов конкретних ділянок для проектування об'єктів захисту сховищ та транспортування відходів;
6. визначення мережі спостережних свердловин для подальших моніторингових досліджень;
7. визначення змін властивостей, глибини залягання, потужності, мінералізації водоносних горизонтів та фільтраційних властивостей розрізу при заповненні сховища промисловими відходами;
8. визначення швидкості розповсюдження забруднення в підземній гідросфері та безпечного часу зберігання відходів;
9. визначення впливу змін гідрогеологічних умов в районі функціонування сховища промислових відходів на активізацію небезпечних екзогенних геологічних процесів;

10. картування техногенних ореолів забруднення у водоносних горизонтах.

Ці задачі вирішуються за допомогою методів:

- a) радіогідрогеології,
- b) електротомографії,
- c) електророзвідки (природного поля),
- d) вертикального електрондування,
- e) каротажу,
- f) зарядженого тіла,
- g) становлення електромагнітного поля,
- h) 3D-сейсмозвідки,
- i) міжсвердловинного прозвучування,
- j) резистивіметрії, термометрії, радіометрії,
- k) тематичної переінтерпретації даних дистанційного зондування Землі та фондової геолого-геофізичної інформації,
- l) гідрогеологічного опробування,
- m) геохімічного опробування.

Загальні підходи до комплексування геолого-геофізичних методів для вирішення вказаних задач екологічного моніторингу, що відрізняються на різних етапах функціонування сховищ промислових відходів (на прикладі ярово-балкового типу [4]) наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Загальні підходи до комплексування геолого-геофізичних методів для дослідження особливостей впливу сховища на водоносні горизонти на різних етапах (стадіях) функціонування сховищ промислових відходів

Проектування сховищ та шляхів транспортування відходів		Будівництво	Експлуатація (тимчасове зберігання)	Переробка (на місці)	Перевезення (на інше місце)	Захоронення
Задачі: 1,2,3,4,6,8 Методи: f,k,m,g,h по площі у масштабі 1:10000	Задачі: 4,5,6 Методи: g,d,b,j у масштабі 1:5000-1:10000	Задачі: 4,9 Методи: i,e,d,h в межах прилеглої території у масштабі 1:5000-1:10000	Задачі: 1,2,7,8,9,10 Методи: a,b,l,m,l,f,g,h у масштабі 1:5000-1:10000	Задачі: 3,4,6,7 Методи: a,c,j,m, у масштабі 1:5000	Задачі: 1,4 Методи: a,j,m,d у масштабі 1:5000, вздовж шляху перевезення у масштабі 1:10000	Задачі: 1,4,10 Методи: a,b,d,l,l,m, h М 1:10000
(у моніторинговому режимі на прилеглий території по площі та у наявних свердловинах)						

Аналогічний підхід використовується для визначення комплексу геолого-геофізичних досліджень при вирішенні інших завдань екологічного моніторингу територій, прилеглих до сховищ промислових відходів.

**Вибір ділянок комплексних геолого-геофізичних досліджень в системі екологічного моніторингу районів сховищ промислових відходів.** Важливим фактором при вирішенні цього питання є особливості тектонічної (розломно-

блокової) будови території [3,4]. Саме це завдання є одним з головних при виконанні геолого-геофізичного районування (зонування) досліджуваної території району сховища промислових відходів. Район (зона), що виділяється, характеризується спільністю геолого-геофізичних особливостей, які визначають геоecологічні завдання та комплекс (і методику) геофізичних методів для їх вирішення. Запропонований підхід до визначення ділянок проведення комплексних геолого-геофізичних досліджень в системі екологічного моніторингу проілюструємо на прикладі території Середнього Придніпров'я. Історично склалося, що саме тут розташована значна кількість сховищ промислових (у т.ч. радіоактивних) відходів.

В ході дослідження були оброблені гравімагнітні дані масштабів 1:50000–1:1000000, а також картографічна інформація щодо розломно-блокової будови цієї території [5]. В результаті обробки карт індикаторів розломів масштабу 1:200000 в районі м. Дніпропетровськ виділені зони підвищених значень їх щільності: перша – охоплює правий берег р. Дніпро (вздовж річки), інша – простягається з північного заходу у бік м. Дніпропетровськ. Значення щільності показників в останній – перевищують середні по району досліджень у 3 рази. Ця зона контролюється наступними розломами (визначеними у [5]): Каменець-Подольсько-Новомосковським, Чертомликсько-Дніпродзержинським, Пердансько-Дніпродзержинським, Петриківсько-Запорізьким, Дніпродзержинсько-Сорокинським. Встановлено наступні напрямки активних фрагментів систем розломів, що можуть впливати на розповсюдження небезпечного геоecологічного впливу (забруднення) 45°, 77°, 287° та 315° (Рис. 1).

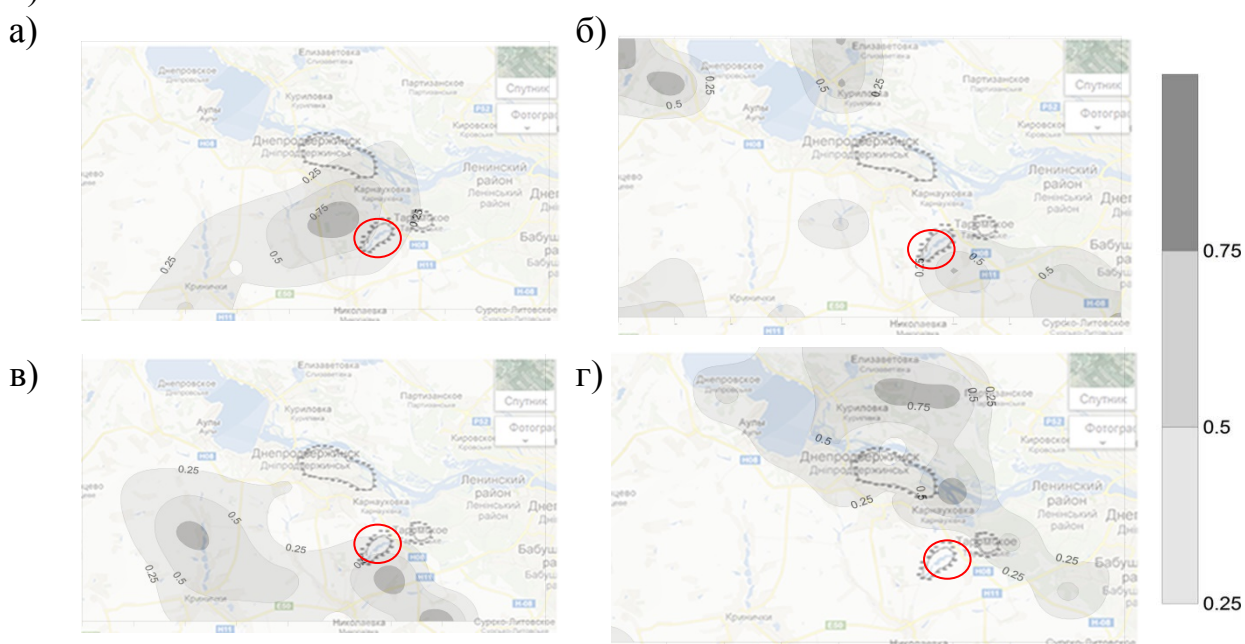


Рис.1. Карти щільності індикаторів розломів масштабу 1:200000 в районі мм. Дніпропетровськ-Дніпродзержинськ з азимутами: а) 45°, б) 77°, в) 287°, г) 315°. (Хвостосховище «Сухачівське» – в красному колі)

Аналіз результатів обробки інформації щодо розломно-блокової будови території, відновленої за комплексом геолого-геофізичних даних, свідчить, зокрема, про наявність пріоритетного напрямку розповсюдження небезпечного

геоекологічного впливу (в т.ч. радіоактивного забруднення) від хвостосховища «Сухачівське» – 45°. При подальшому розповсюдженні забруднення напрямом 45° переходить до 305-315°. Разом із цим частина цього сховища також знаходиться «під впливом» розломів напрямків 77° та 287°. Виявлена зона сприятиме поширенню забруднення на північний схід.

Для підвищення оперативності прогнозування напрямків геоекологічного впливу сховищ промислових відходів пропонується оригінальна методика обробки первинних геофізичних даних. У таблиці 2 наведено порівняльну характеристику виявлених в різних масштабах особливостей прояву розломів різних напрямків з побудованих карт систем розломів та з первинних гравітаційних та магнітних даних.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика прояву розломів при різномасштабних дослідженнях (район хвостосховища «Сухачівське», м. Дніпродзержинськ)

Азимут простягання розлому	Вихідні дані				
	Кarti індикаторів розломів 1:500000	Кarti індикаторів розломів 1:200000	Кarti магнітного поля 1:200000	Кarti магнітного поля 1:50000	Кarti гравітаційного поля)1:50000
0°	Не проявляється (сховище між розломами II рангу)	На заході від сховища зона середнього прояву, на півдні - сильного	На заході від сховища зона сильного прояву (сховище знаходиться в зоні середнього прояву)	Не проявляється	Не проявляється (на заході від сховища зона сильного прояву)
17°	Прояв слабкий	Не проявляється	Зона слабого та середнього прояву	Зона слабого та середнього прояву	На південному заході сильний прояв
35°	Прояв слабкий, (розлом розташований на південному сході від сховища)	Прояв слабкий (поряд зі сховищем)	Прояв слабкий в зоні розташування сховища (зони сильного прояву розлому на південному заході та північному сході від сховища)	Не проявляється (середній прояв розлому на північному сході від сховища)	Не проявляється (зона сильного прояву на північному сході від сховища)
45°	Прояв середній розлом II рангу (паралельно на південному сході)	Сховище в зоні середнього та слабого прояву (на північному заході від сховища зона сильного прояву)	Сховище в зоні слабого прояву (на заході та північному сході від сховища зона сильного прояву)	Сховище в зоні слабого прояву, (на південному сході зона сильного прояву)	Всі зони прояву розлому пересікають сховище
62°	Прояв слабкий	Прояв слабкий (частково)	Прояв слабкий	Прояв слабкий	Прояв слабкий (частково)
77°	Прояв середній (сховище між розломами II рангу)	Прояв слабкий в зоні сховища, (середній – на південь від сховища)	Прояв слабкий в зоні сховища (середній та сильний – на півдні від сховища)	Прояв слабкий та середній	Прояв слабкий та середній частково
270°	Прояв слабкий	На півдні від сховища прояв середній	Сховище в зоні слабого прояву розлому (на південь від сховища зона сильного прояву)	Прояв розлому слабкий та середній (окрім центру сховища)	Не проявляється (частково слабкий прояв розлому в зоні розташування сховища)
287°	Прояв слабкий та середній	Сховище в зоні слабого та середнього прояву розлому (на південному)	Сховище в зоні середнього прояву розлому (на південному сході зона сильного)	В центрі сховища зона середнього прояву, на півдні – сильного	Сховище в зоні середнього прояву розлому



Азимут простягання розлому	Вихідні дані				
	Карти індикаторів розломів 1:500000	Карти індикаторів розломів 1:200000	Карти магнітного поля 1:200000	Карти магнітного поля 1:50000	Карти гравітаційного поля)1:50000
		сході зона сильного прояву розлому)	прояву)		
305°	Прояв слабкий та середній	На північному сході зона сильного прояву розлому	сховище в зоні слабого прояву (на північному сході зона сильного прояву)	Сховище в зоні слабого та середнього прояву (на північному сході від сховища зона сильного прояву)	Прояв слабкий
315°	Зона сильного прояву на південному заході сховища	На північному сході від сховища зона сильного прояву	Сховище розташовано в зоні слабого та середнього прояву (зона сильного прояву на північному сході від сховища)	В центрі сховища зона слабого прояву (на північному сході від сховища зона середнього прояву, на півдні зона сильного прояву)	Прояв розлому слабкий (на південному заході сховища середній)
332°	Середній прояв	Не проявляється	Прояв розлому середній в зоні розташування сховища (сильний на півдні від сховища)	Прояв розлому слабкий та середній в зоні розташування сховища (сильний на півдні від сховища)	Не проявляється (на півдні від сховища прояв розлому середній)
347°	Не проявляється (сховище між розломами II рангу)	Сховище розташоване в зоні слабого прояву розлому (на півдні зона сильного прояву)	Сховище розташоване в зоні слабого та середнього прояву розлому (на південному заході зона сильного прояву)	Сховище розташоване в зоні слабого прояву розлому (на півдні зона сильного прояву)	Сховище розташоване між зонами слабого та середнього прояву розлому

Ця інформація деталізує попередню в частині прогнозування шляхів розповсюдження негативного геоекологічного впливу (в т.ч. радіоактивного забруднення) і дає можливість зменшувати (оптимізувати) об'єми проектних геолого-геофізичних робіт в екологічному моніторингу територій, прилеглих до сховищ промислових відходів.

Для дослідження особливостей та закономірностей прояву розломів на картах різних масштабів використано апарат багатомірної регресії, що дозволяє кількісно оцінити вагу основних вихідних даних у побудові тектонічної карти, а також дає можливість встановити закономірності проявів розломів при збільшенні масштабу досліджень і дозволить ефективніше проводити більш детальні роботи щодо дослідження розломно-блокової будови.

Регресійну залежність досліджуваних параметрів  $Y$  від  $X$  можливо представити у наступному вигляді.

$$Y(i) = B1 * X(i) + B0 + e(i), \quad (1)$$

$$0 < i \leq n$$

де  $B1, B0$  – невідомі константи,  $e(i)$  – випадкові величини близькі до 0.

Цю залежність характеризує коефіцієнт кореляції, що відображає міру залежності двох величин, та дисперсії, що відображає значення розкиду величин вибірки від середнього значення, що розраховує регресійне рівняння.

В результаті обробки різномасштабної картографічної інформації визначено наступне.

- При побудові тектонічних карт вага даних гравірозувідки становить 70-80%, з коефіцієнтом детермінації 68-74%, магніторозвідки – 22-25%.
- При збільшенні масштабу досліджень з 1:500 000 до 1:200 000 розломи другого рангу проявляються інтенсивніше або зберігають зону свого прояву в межах 63-72%, розломи третього рангу у масштабі 1:200 000 проявляються слабо, а при збільшенні масштабу досліджень інтенсивніше (50-58% зон).

При збільшенні масштабу досліджень інтенсивність прояву розломів теж збільшується, спостерігається звуження ширини зони інтенсивного прояву розлому, тобто з'являється можливість визначати розломи V, VI, VII та інших рангів при більш детальних дослідженнях в межах розломів I та II рангу визначених попередниками.

**Висновки.** В роботі на основі різнопланової обробки геофізичної і тектонічної інформації визначені особливості комплексування геолого-геофізичних методів для вирішення основних та спеціалізованих задач екологічного моніторингу для оцінки впливу сховищ промислових відходів на геологічне середовище на різних етапах їх функціонування. На прикладах Середнього Придніпров'я показана можливість обробки різномасштабної геолого-геофізичної інформації за допомогою апарату багатомірної регресії для обґрунтування вибору конкретних ділянок ефективного застосування відповідних методів у екологічному моніторингу геологічного середовища.

#### Список літератури

1. Шапар А.Г. Стратегія і тактика сталого розвитку / А.Г. Шапар, М.А. Ємець, П.І. Копач та ін. – Дніпропетровськ: «Моноліт». – 2004. – 320 с.
2. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика / Г.С. Вахромеев. – Иркутск: ИрГТУ, 1995. – 216 с.
3. Тяпкин О.К. Геофизические методы решения геозкологических задач / О.К. Тяпкин. – Днепропетровск: Монолит, 2006. – 320 с.
4. Білашенко О.Г. Геометричні особливості фізико-геологічних моделей сховищ відходів збагачення уранової сировини в Середньому Придніпров'ї / О.Г. Білашенко, П.Г. Пігулевський, О.К. Тяпкін // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2012. – №1. – С.9-15.
5. Тяпкин К.Ф. Системы разломов Украинского щита / К.Ф. Тяпкин, В.Н. Гонтаренко. – Киев: Наукова думка, 1990. – 184 с.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Довбнічем М.М.  
Надійшла до редакції 06.01.15*

## МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА LANDSAT-8

Рассмотрен метод комплексной фильтрации выделения сельскохозяйственных полей по данным панхроматической съемки спутника дистанционного зондирования Земли из космоса Landsat-8. Дана количественная оценка результатов и сравнение с результатами кластеризации методами Single Pass и ISODATA программы MultiSpec.

Розглянутий метод виділення сільськогосподарських полів за даними панхроматичної зйомки супутника дистанційного зондування Землі з космосу Landsat-8. Дана кількісна оцінка результатів та порівняння з результатами кластеризації методами Single Pass та ISODATA програми MultiSpec.

The method of complex filtration of selection of the agricultural fields is considered from data of panchromatic survey of satellite of the remote sensing of Earth from space of Landsat-8. The quantitative estimation of results and comparing are given to the results of clusterization by the methods of Single Pass and ISODATA from the program MultiSpec.

**Введение.** Данные дистанционного зондирования (ДЗ) Земли из космоса представляют большой интерес при решении множества задач в различных областях и сферах деятельности человека. Одной из таких сфер является сельское хозяйство, с ее первоочередной задачей прогнозирования урожайности культур, а также мониторинга растительного покрова.

Наибольшее распространение для решения этих задач получили различные виды спектральных преобразований данных мультиспектральной съемки Земли из космоса, основанные на отношениях коэффициентов спектральной отражательной способности, предварительно рассчитанных по данным из разных поддиапазонов электромагнитного спектра. К таким преобразованиям относят, в частности, ряд так называемых индексов.

Одним из самых известных индексов, является вегетационный индекс и его разновидности (например, нормализованный разностный вегетационный индекс – NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)). Первые упоминания об исследовании состояния вегетации по мультиспектральным данным сканеров ДЗ, можно встретить в 1973 году, в исследованиях Rouse и его коллег [1], которые обрабатывали данные спутника Landsat-1 (ERTS-1) и использовали вычисления вегетационного и трансформированного вегетационного индексов по данным каналов сканера Landsat-1 MSS. В настоящее время вегетационные индексы широко используются для мониторинга состояния растительности, оценки биомассы, определения плотности растительного покрова, а также в задачах мониторинга и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных (с\х) культур [2].

Сама задача расчета индексов достаточно просто реализуется при помощи различных программных инструментов обработки мультиспектральных космоснимков [3]. Например, это программные продукты ERDAS Imagine, ENVI, PCI Geomatica, TNT Mips/Lite и подобные. Однако, совсем не тривиальной остается задача автоматизации отделения территорий

с\х полей от остальных территорий как природного, так и антропогенного ландшафтов.

Сложность решения этой задачи определена прежде всего тем, что такие территории имеют либо сходные значения NDVI с другой растительностью (например, луговой или же лесной), а открытые почвы с\х полей по значениям NDVI или по их спектральным особенностям, относятся к различным открытым почвам, которые могут не иметь ничего общего с с\х полями.

Выделение с\х полей из общего контекста космоснимка позволит в дальнейшем проводить различные расчеты исключительно по определенным территориям, что в свою очередь должно повысить прогноз урожайности.

Поскольку территории, покрытые с\х полями для Украины составляют большую часть, то задача автоматизации обработки космоснимков с целью выделения полей и последующей их обработке (например, расчет тех же вегетационных индексов, прогноз урожайности), является актуальной.

Настоящая работа основана на идеях и результатах работы, описанных в [4]. В этой работе авторы активно используют значения NDVI, а также различные методы фильтрации.

Цель и задачи работы. Целью являлась разработка программных инструментов автоматизации выделения с\х полей на базе разработанного метода комплексной фильтрации данных панхроматической съемки Landsat-8 без анализа индекса NDVI.

#### **В ходе работы решены основные задачи:**

- выполнена предварительная обработка данных космосъемки;
- из мультиспектральных и панхроматических данных выделен тестовый участок с изображениями с\х полей различной текстуры и уровнями яркости;
- выполнен ряд пространственных преобразований с данными, позволяющими отделить с\х поля от других объектов местности;
- выполнена оцифровка эталонных участков полей, представленная в векторном формате и используемая в ходе количественной оценки результатов преобразований;
- разработан программный инструментарий для автоматизации процесса выделения с\х полей с последующей количественной оценкой результатов;
- для количественного сравнения с результатами обработки предложенным методом комплексной фильтрации, выполнены кластеризации наборов данных методами Single Pass и ISODATA из программы MultiSpec.

**Исходные данные и их характеристика.** Исходными данными для обработки являлся мультиспектральный космоснимок, полученный со спутника ДЗ Landsat-8, покрывающий съемкой часть территории Днепропетровской области. Дата съемки: 16.03.2015. Космоснимок представляет данные уровня обработки Level 1 и предоставлен архивным центром LP DAAC (Land Processes Distributed Active Archive Center) USGS EROS (U.S. Geological Survey's Earth Resources Observation and Science Center).

Спутник Landsat-8 (LDCM – Landsat Data Continuity Mission) выведен на солнечно-синхронную, приполярную орбиту (высота 705 км) 11 февраля 2013 года. Спутник выполняет съемку одной и той же территории с периодом 16 суток. Основные инструменты съемки (табл. 1):

– OLI (Operational Land Imager) – 9-канальный мультиспектральный сканер;

– TIRS (Thermal InfraRed Sensor) – 2-канальный сканер регистрации электромагнитного излучения в дальнем инфракрасном (тепловом) поддиапазоне спектра.

Таблица 1

### Основные характеристики аппаратуры съемки Landsat-8

№ канала	Название канала	Диапазон съемки, мкм	Длина волны на полусреднем максимуме, мкм	Пространственное разрешение съемки, м
<i>сканер OLI</i>				
1	Coastal Aerosol	0,433 – 0,453	0,443	
2	Blue	0,450 – 0,515	0,482	
3	Green	0,525 – 0,600	0,562	
4	Red	0,630 – 0,680	0,655	30
5	NIR	0,845 – 0,885	0,865	
6	SWIR 1	1,56 – 1,66	1,61	
7	SWIR 2	2,1 – 2,3	2,2	
8	PAN	0,50 – 0,68	0,59	15
9	Cirrus	1,36 – 1,39	1,375	30
<i>сканер TIRS</i>				
10	Thermal 1	10,3 – 11,3	10,8	
11	Thermal 2	11,5 – 12,5	12,0	100

Трек съемки спутника Landsat-8 представлен схемой WRS-2 (Worldwide Reference System). Согласно ей, вся поверхность планеты разделена на 233 столбца (Path), которые соответствуют орбите спутника, и 248 строк (Row). Площадь территории покрытия одной ячейки сети WRS-2, составляет 180x185 км – 33 300 км<sup>2</sup>. Центральная часть Днепропетровской области покрыта съемкой Landsat-8 с Path: 178, Row: 26.

В исследовании интерес представлял Магдалиновский район Днепропетровской области, с его богатой с\х инфраструктурой.

На рис. 1 представлен пример изображения архивной сцены Landsat-8, снятой в панхроматическом канале, указанных координатах Path/Row, совмещенный с контурами границ Днепропетровской области и Магдалиновского района.

Процесс автоматизации обработки космоснимка проводился с использованием открытого, свободно распространяемого программного обеспечения GDAL, SAGA

GIS, а также специально разработанных программ обработки мультиспектральных изображений на языке программирования C++.

Метод комплексной фильтрации. Основу предлагаемого метода автоматизации выделения полей представляет комбинирование известных методов фильтрации изображений. Так, в ходе ряда экспериментов, установлено, что приемлемый результат выделения с\х полей может быть достигнут при использовании следующей комбинации методов:

1. Фильтрация исходного изображения фильтром Лапласа с ядром свертки:

$$\begin{vmatrix} -1 & -2 & -1 \\ -2 & 12 & -2 \\ -1 & -2 & -1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

2. Использование морфологического фильтра расширения (Erosion).

3. Выделение ячеек раstra с определенным диапазоном значений, соответствующих с\х полям.

4. Медианная фильтрация для устранения отдельных выбросов значений.

5. Окончательное выделение ячеек раstra с определенным диапазоном значений, соответствующих с\х полям (подготовка маски).

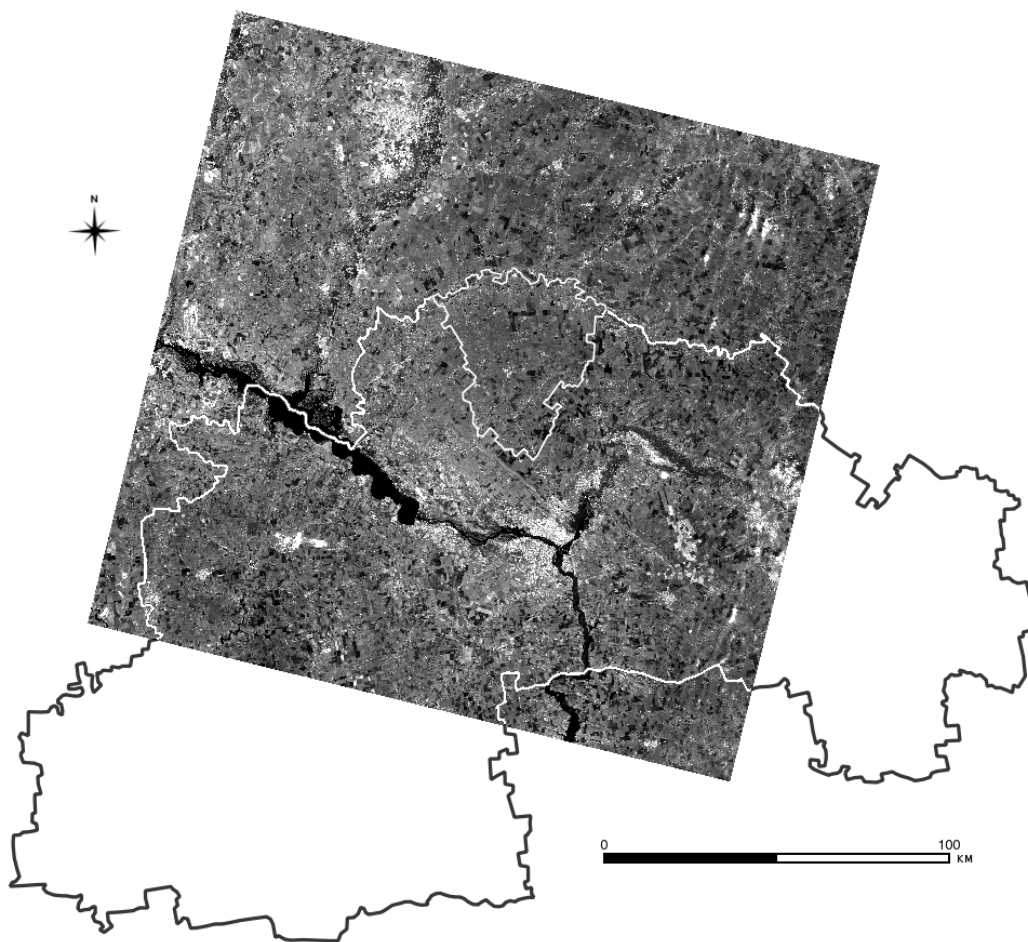


Рис. 1. Покрытие части территории Днепропетровской области одной сценой Landsat-8. Представлены контуры границ области и Магдалиновского района

После того, как растровая маска готова, выполняется маскирование исходного растра – фрагмента изображения панхроматического канала Landsat-8. На рис. 2 представлены ключевые результаты обработки исходного фрагмента панхроматического изображения (рис. 2, а).

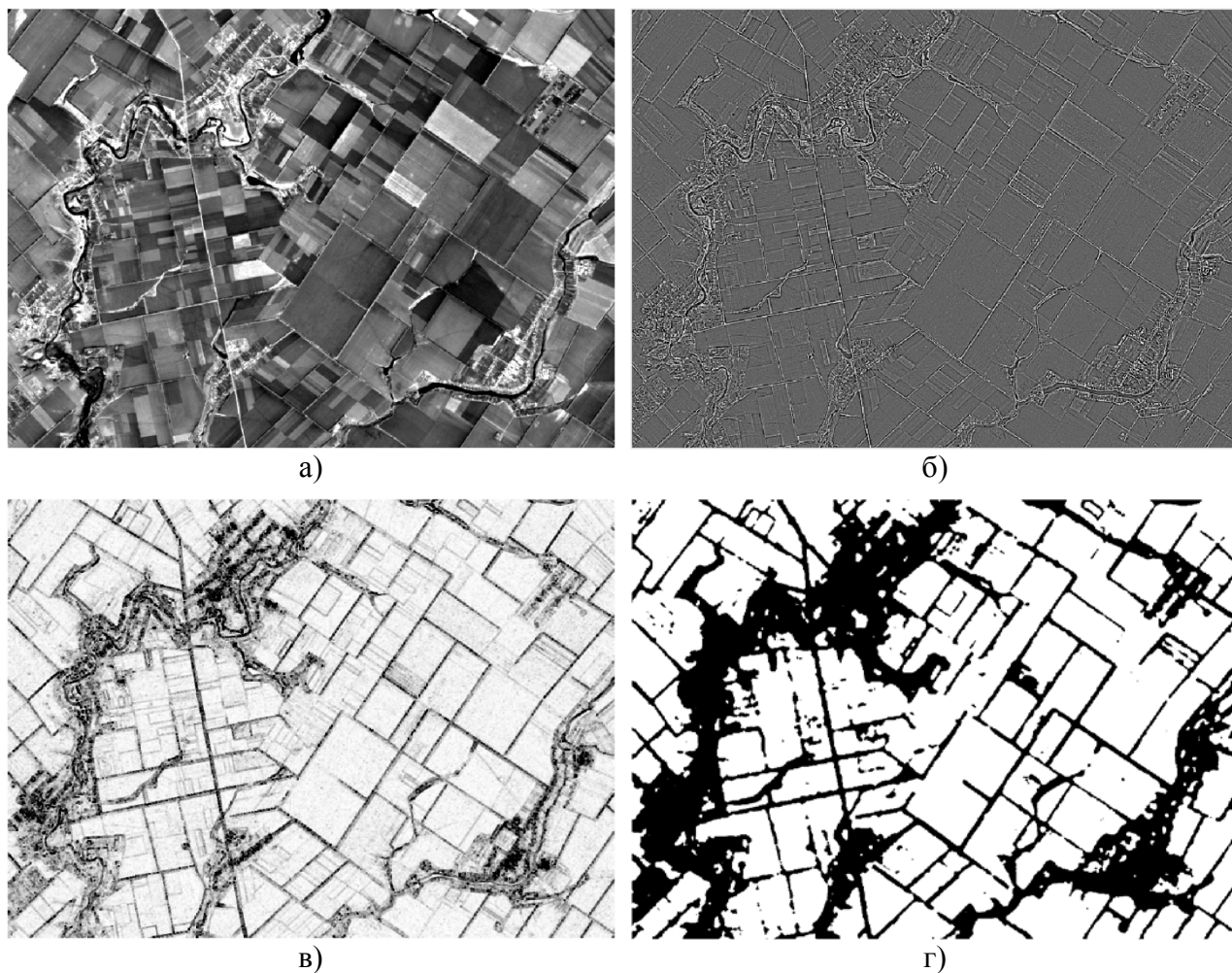


Рис. 2. Исходное панхроматическое изображение космоснимка (а) и его результаты обработки: б) – лапласиан с ядром свертки (1); в) – морфологический фильтр расширения; г) – медианная фильтрация

При помощи разработанных в среде Linux скриптов автоматизации на языке командного процессора Bash, инструментария SAGA GIS и утилит командной строки GDAL, получен специализированный инструментарий автоматизации выделения с\х полей предложенным методом комплексной фильтрации. Конечный результат обработки данных фрагмента панхроматического канала Landsat-8, представлен на рис. 3.

Критерием точности метода является разность площадей с\х полей, подсчитанных по пикселям множества эталонных полей и пикселей полей, выделенных методом обработки. С целью выполнения количественной оценки были определены границы эталонных полей (рис. 3, б), общая площадь которых

составила 1239,57 га. Разница между исходными и выделенными полями предложенным методом комплексной фильтрации, составила 70,3 га (5% от общей площади эталонных полей).

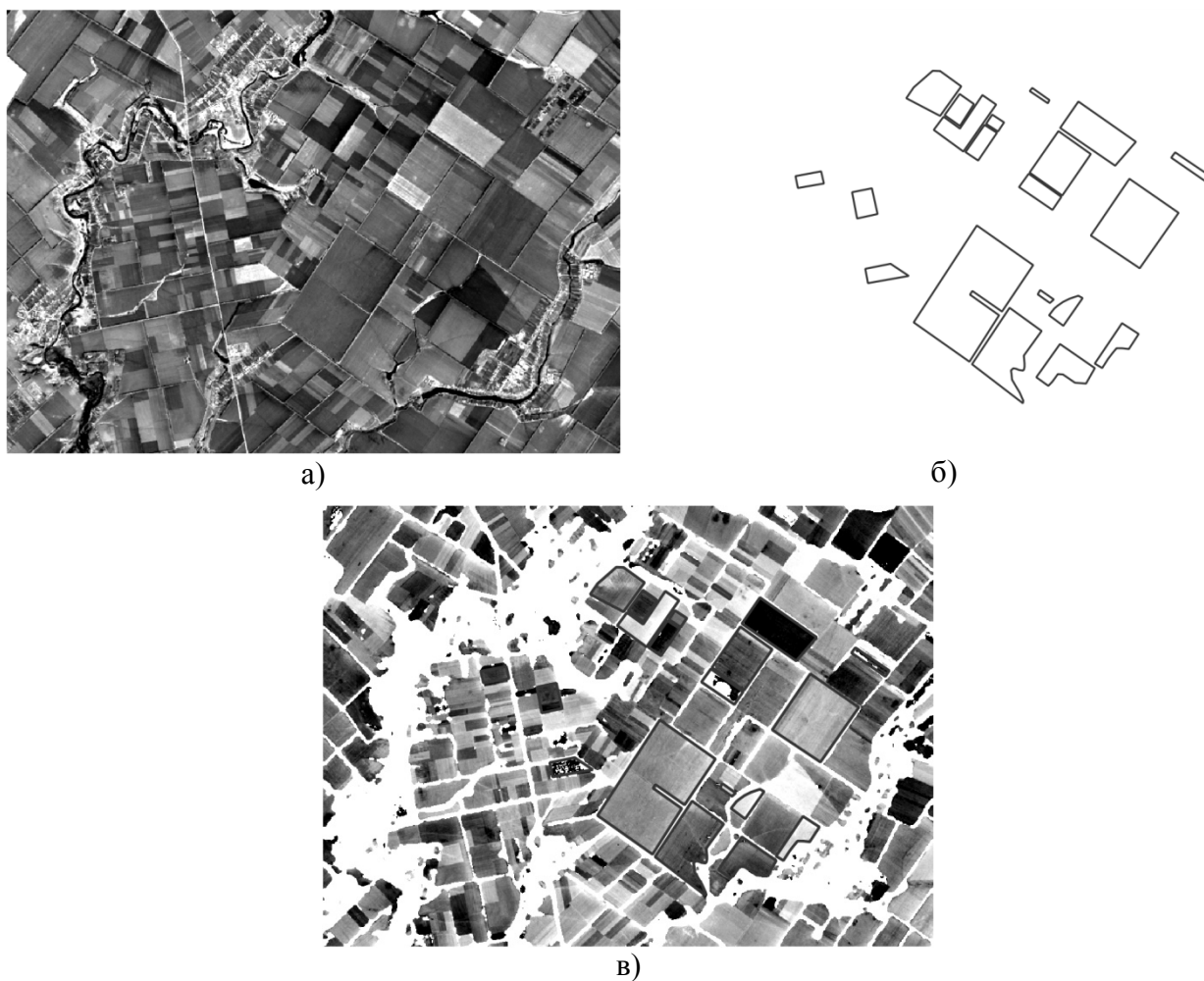


Рис. 3. Исходное панхроматическое изображение космоснимка (а), границы эталонных полей (б) и результат маскирования предложенным методом (в)

Кроме предложенного метода, с\х поля могут быть выделены при помощи различных методов классификации (кластеризации), а также при помощи методов, связанных с анализом коэффициентов спектрального отражения объектов территорий.

В работе выделены структуры полей при помощи методов кластеризации, как наименее затратных по времени, поскольку они не требуют предварительного составления эталонов для процесса идентификации полей, как и предложенный метод комплексной фильтрации. Цифровые карты распределения кластеров различных типов земного покрытия были построены в программе MultiSpec двумя методами – Single Pass и ISODATA. Выбранное количество кластеров – 4-е из расчета выделить на снимке такие участки



земного покрытия, как "открытая почва", "растительность", "вода", "дороги (искусственные объекты местности)". Следует отметить, что поскольку был выбран космоснимок от 16.03.2015 и территория на нем не покрыта снежным покровом, то на нем очень хорошо при цветовом синтезе каналов 5-4-2 Landsat-8 OLI фиксируются поля, покрытые озимыми с/х культурами. Результирующие карты кластеризации представлены на рис. 4.

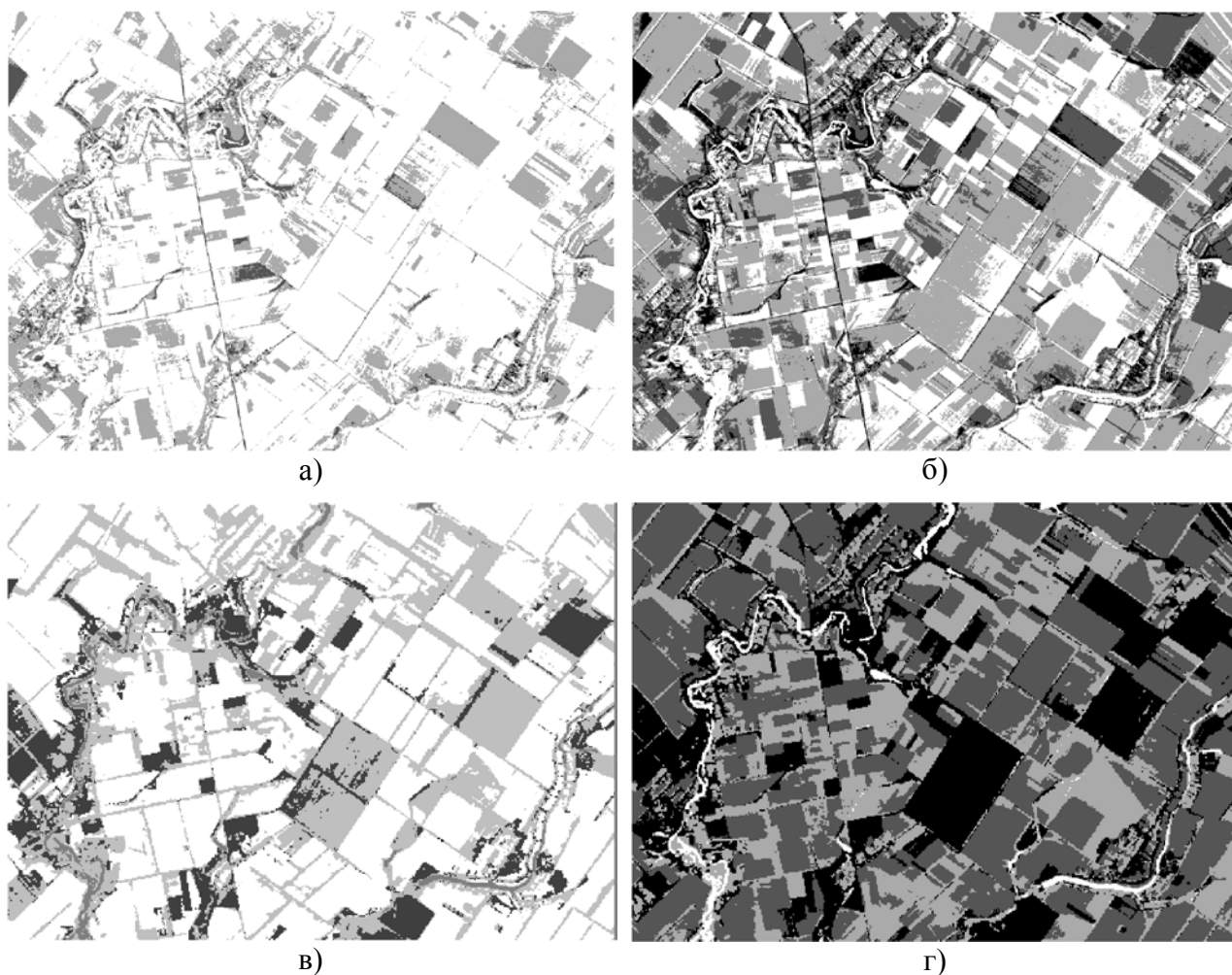


Рис. 4. Результаты кластеризации методами Single Pass (а, в) и ISODATA (б, г) изображений панхроматического канала 8 сканера OLI (а, б) и мультиспектрального изображения (в, г) – использованы каналы 2 – 7 сканера OLI

Управляющие параметры кластеризации в MultiSpec выбраны следующие:

– Single Pass (панхроматическое изображение) – минимальный размер кластера: 6, критическое расстояние 1: 0,04, критическое расстояние 2: 0,07;

– Single Pass (мультиспектральное изображение) – минимальный размер кластера: 6, критическое расстояние 1: 0,09, критическое расстояние 2: 0,18;

– ISODATA (панхроматическое изображение, мультиспектральное изображение) – минимальный размер кластера: 6, количество кластеров: 4, сходимость: 99%.

К полученным результатам кластеризации была также применена маска эталонных полей (рис. 3, б), а затем выполнены подсчеты площадей участков, которые не были соотнесены с типами земного покрытия "вода" и "дорога". Результаты количественной оценки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Количественная оценка результатов  
использования методов для выделения с\х полей

<i>№ п/п</i>	<i>Метод</i>	<i>Разница между площадью эталонных и выделенных полей, га</i>	<i>Ошибка, %</i>
1.	Комплексная фильтрация панхроматического канала	70,3	5
2.	Кластеризация ISODATA панхроматического канала	446,04	35
3.	Кластеризация Single Pass панхроматического канала	953,08	76
4.	Кластеризация ISODATA мультиспектрального изображения (каналы 2 – 7 OLI)	561,6	45
5.	Кластеризация Single Pass мультиспектрального изображения (каналы 2 – 7 OLI)	604,71	48

**Выводы.** Представленный метод комплексной фильтрации показал достаточно неплохие результаты по выделению с\х полей на тестовом наборе данных, дав ошибку отнесения пикселей с\х полей к другим типам земного покрытия в 5%. Эксперименты над мультиспектральными данными показали, что достаточно сложно выделить с\х поля зная только информацию об их спектральных особенностях или значениях NDVI. В значительной степени играют роль такие дешифровочные признаки, как текстура, тон и структура. Учитывая их, возможно добиться и более меньшей ошибки. Однако, предложенный метод прост в реализации и эффективен.

В дальнейших исследованиях планируется использование предложенных скриптов автоматизации в процессах прогнозирования урожайности с\х культур по данным мультиспектральных сканеров ДЗ.

Список литературы

1. Rouse, J.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS / Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, and D.W. Deering // Third ERTS Symposium, NASA SP-351 I. – 1973. P. 309-317.

2. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геоматика. – 2009. № 3. – С. 28-32.
3. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.
4. L. Yan, D.P. Roy. Automated crop field extraction from multi-temporal Web Enabled Landsat Data // Remote Sensing of Environment. – 2014. № 144. – P. 42-64.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бусигінім Б.С.  
Надійшла до редакції 15.01.15*

УДК 622.457:519.6

© Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕНТИЛЯЦИИ ТУПИКОВОЙ ПОДЗЕМНОЙ ВЫРАБОТКИ**

Разработана численная модель на базе многомерных уравнений аэродинамики и уравнения конвективно-диффузионного переноса примеси. Численное интегрирование моделирующих уравнений проводится с помощью метода Либмана и неявной разностной схемы. Представлены результаты практического применения разработанной CFD модели, позволяющие оценить эффективность проветривания выработки при заданных параметрах вентиляции. Рассчитаны значения концентрации пыли в исследуемой области выработки. Проведен сравнительный анализ изменения концентрации по данному загрязнителю с течением времени.

Розроблено чисельну модель на базі багатовимірних рівнянь аеродинаміки і рівняння конвективно-дифузійного переносу домішки. Чисельне інтегрування моделюючих рівнянь проводиться за допомогою методу Лібмана і неявної різницевої схеми. Представлено результати практичного застосування розробленої CFD моделі, що дозволяють оцінити ефективність провітрювання виробки при заданих параметрах вентиляції. Розраховано значення концентрації пилу в досліджуваній області виробки. Проведено порівняльний аналіз зміни концентрації за даним забруднювачем з часом.

A numerical model is based on the multi-dimensional equations of aerodynamics and the equation of convection-diffusion pollutant transfer. Numerical integration of modeling equations is performed using the method of Libman and implicit difference schemes. The results of the practical application of the developed CFD model is represented to assess the effectiveness of ventilation in the production of the given parameters of ventilation. The values of dust concentration in the study area were calculated. A comparative analysis of concentration changes of this pollutant in the time were done.

**Постановка проблемы и анализ публикаций.** Развитие горнодобывающей промышленности основано на повышении интенсивности работ в выработках, что приводит к увеличению пыле- и газовыделений. Это предъявляет высокие требования к эффективности работы вентиляционной системы. Рост объема очистного пространства и интенсивности ведения горных

работ вызывает увеличение в объеме воздуха, при этом требуется рациональное использование подаваемого воздуха. В связи с этим необходимо знать, каким образом происходит изменение концентрации примеси в процессе проветривания выработки. Проветривание подземных выработок относится к одной из наиболее актуальных задач аэрологии в горной промышленности. В рамках этой проблемы следует выделить задачу разработки методов прогноза для расчета времени вентиляции подземных выработок.

В рамках решения данной задачи был достигнут определенный прогресс. Существенный вклад в решение этой проблемы внесли исследователи: Г.В. Калабин, А.А. Бакланов, П.В. Амосов, Н.Ф. Кременчуцкий, Н.Н. Воронин, И.И. Швырков, А.П. Казаков, А.Д. Вассарман, В.И. Голинько, В.Е. Колесник и ряд других. Здесь необходимо подчеркнуть, что существующие методы расчета условно можно разбить на два подхода: первый – применение эмпирических методик, совместно с балансовыми моделями [2]; второй – численные модели на базе уравнений Навье-Стокса, т.е. CFD модели [1]. Первый подход широко используется в инженерной практике, но методы расчета в рамках этого подхода не позволяют учесть ряд важных факторов (форму выработки и аэродинамику процесса вентиляции), полученные при этом результаты хотя и обеспечивают достаточную инженерную точность, но ограничивают их применимость неширокими рамками конкретных ситуаций и условий. Второй подход – очень трудоемкий, он предъявляет высокие требования к пользователю (достаточно глубокие знания аэродинамики и массопереноса), кроме этого моделирование на базе уравнения Навье-Стокса требует мощных компьютеров и больших временных затрат на получение результата, поэтому в настоящее время такой подход не может стать ежедневным инструментом в инженерной практике. Однако второй подход является лидирующим в мировой практике. В последние годы модели вычислительной гидродинамики широко используются инженерами за рубежом для решения задач данного класса. Численное моделирование аэродинамики воздушных потоков в подземных выработках помогает оптимизировать процесс эффективной циркуляции воздуха и удаления загрязнений [6–7].

К сожалению, разработка численных моделей для решения задач по проветриванию подземных выработок осуществляется в Украине не так активно, как за рубежом. Существующие в настоящее время на Украине подходы по расчету параметров проветривания выработок, основываются либо на теоретических положениях, которые требуют постановки экспериментов для определения эмпирических коэффициентов, либо используют величины средней скорости по сечению выработки и постоянные по всему объему коэффициенты турбулентной диффузии. Это не позволяет определить поля концентрации загрязнителей в любое заданное время, а тем самым и контролировать процесс проветривания.

**Целью** работы является разработка эффективной CFD модели для расчета вентиляции тупиковых выработок, т.е. создание вычислительного инструмента для ежедневного использования в инженерной практике. Этот инструмент с одной стороны учитывает наиболее существенные факторы при проведении

расчетов (форму выработки, наличие породы в выемке, режим вентилирования, процесс гравитационного оседания пыли и т.д., а с другой стороны позволяет получить прогнозные данные в течение нескольких секунд.

**Математическая модель.** Рассматривается подземная выработка заданных размеров, в которой воздушная среда загрязнена мелкодисперсной пылью известной концентрации  $C_0$ . Вентиляция пространства осуществляется путем подачи чистого воздуха через нагнетательный воздуховод (рис.1). Подача чистого воздуха приводит к уменьшению концентрации пыли в выемке. Ставится задача разработки математической модели для оперативного расчета процесса вентилирования выработки.

*Моделирующие уравнения:* Для экспресс расчета поля скорости в подземной выработке используется модель потенциального течения. В этом случае моделирующее уравнение имеет вид [3]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

где  $P$  – потенциал скорости.

При применении данного уравнения полагается, что ось  $Y$  направлена вертикально вверх.

Для решения уравнения (1) ставятся следующие граничные условия [3]:

- на стенках выработки, а также на других твердых поверхностях расположенных внутри нее ставится граничное условие вида:  $\frac{\partial P}{\partial n} = 0$ , где  $n$  – единичный вектор внешней нормали к твердой стенке;

- на границе выхода воздушного потока из воздуховода  $\frac{\partial P}{\partial n} = V_n$ , где  $V_n$  – известное значение скорости воздушного потока;

- на границе, где воздушный поток выходит из выемки (рис.1)  $P = P_0 + const$ ,  $P_0$  – некоторое число (условие Дирихле).

Для моделирования рассеивания пыли в подземной выработке используется уравнение массопереноса [5]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial (v - w_s)C}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (\mu_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (\mu_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \sum Q_i \delta(x - x_i) \delta(y - y_i) \quad (2)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества в выемке;  $u, v$  – компоненты вектора скорости воздушного потока в выемке;  $w_s$  – скорость гравитационного оседания загрязняющего вещества,  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты турбулентной диффузии;  $(x_i, y_i)$  – координаты источника выброса загрязняющего вещества;  $Q_i$  – интенсивность эмиссии загрязнителя в точке  $(x_i, y_i)$ ;  $\delta(x - x_i)$ ,  $\delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака, с помощью которой моделируется поступление загрязнителя в выработку.

Численная модель. Численное интегрирование моделирующих уравнений проводится с использованием прямоугольной разностной сетки. Для численного интегрирования уравнения Лапласа (1) используется метода Либмана [4]. В этом случае аппроксимирующее уравнение имеет вид:

$$\frac{P_{i+1,j} - 2P_{i,j} + P_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1} - 2P_{i,j} + P_{i,j-1}}{\Delta y^2} = 0 \quad (3)$$

Неизвестное значение потенциала определяется по следующей зависимости:

$$P_{i,j} = \frac{\frac{P_{i+1,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x^2} + \frac{P_{i,j+1} - P_{i,j-1}}{\Delta y^2}}{\frac{2}{\Delta x^2} + \frac{2}{\Delta y^2}} \quad (4)$$

Для начала расчета по методу Либмана необходимо задать «начальное» значение потенциала скорости в расчетной области, например  $P_{i,j} = 0$ . При проведении серийных расчетов, поле потенциала скорости, определенное численным путем для одной задачи, может использоваться как «начальное» значение при расчете последующей задачи, с целью минимизации компьютерного времени.

Расчет прекращается при выполнении условия:

$$|P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n| \leq \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – малое число (например,  $\varepsilon=0.001$ );  $n$  – номер итерации.

После расчета поля потенциала скорости выполняется расчет компонент вектора скорости на гранях разностных ячеек по зависимостям:

$$u_{i,j} = \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x}, \quad v_{i,j} = \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta y} \quad (5)$$

Численное интегрирование уравнения массопереноса проводится с помощью неявной разностной схемы расщепления [5].

На основе построенной численной модели разработан пакет программ «Выработка 2» на языке Фортран.

Результаты. Численный расчет с помощью разработанной модели выполнен при следующих исходных данных: размеры расчетной области, ширина (по координате  $x$ ) 4 м, высота (по координате  $y$ ) 4 м; скорость подачи воздуха 0,45 м/с; диаметр трубопровода 0,5 м, скорость гравитационного оседания пыли 0,002 м/с. В начальный момент времени во всей выработке задается равномерная концентрация примеси  $C_0=1$  (в безразмерном виде). Подача воздуха для вентилирования осуществляется через воздуховод (рис.1). Волнистой линией показан выход воздушного потока из выработки.

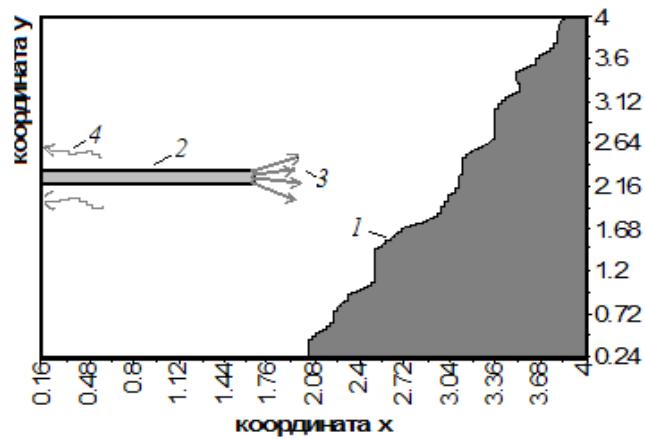


Рис. 1. Схема расчетной области:  
 1 – порода; 2 – воздуховод; 3 – подача воздуха;  
 4 – выход воздушного потока

На последующих рисунках рис. 2–4 представлено изменение концентрационного поля примеси (пыли) в выработке для различных моментов времени. На этих рисунках значение концентрации представлено в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации на данный момент времени. Вывод на печать чисел осуществлен по формату «целое число», т.е. дробная часть числа не выдается на печать.

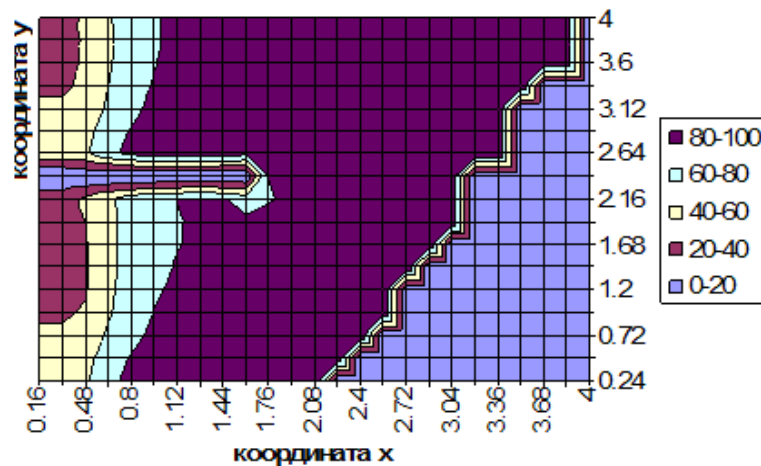


Рис. 2. Поле концентрации пыли:  $t=0.1$  с,  $C_{\max}=0,9976$

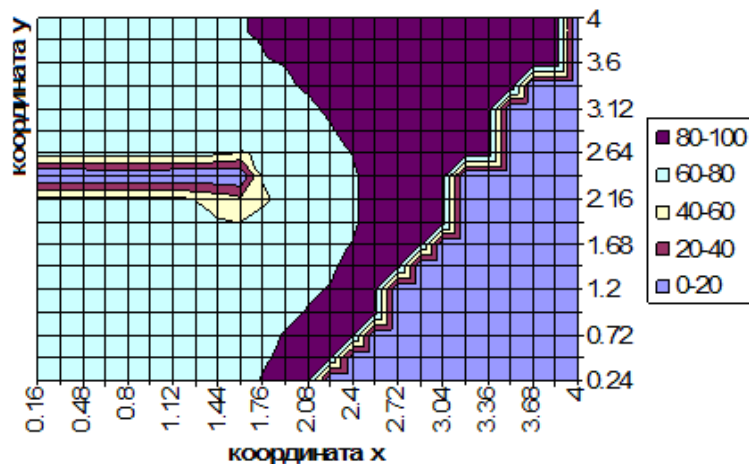


Рис. 3. Поле концентрации пыли:  $t=1$  с,  $C_{\max}=0,9691$

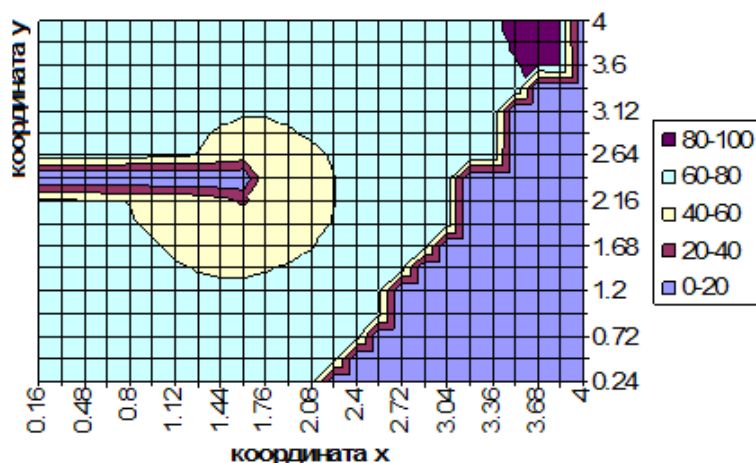


Рис. 4. Поле концентрации пыли:  $t=3$  с,  $C_{\max}=0,8297$

Хорошо видно, что с течением времени происходит очистка воздушной среды в виде «поршневого» вытеснения пыли из выработки. Также видно, что в верхней части тупиковой выработки для моментов времени  $t=3$  с сохраняется зона с повышенной концентрацией примеси 80-100 % (рис. 5.). На рис. 6 показана динамика изменения максимальной концентрации пыли в выработке с течением времени.

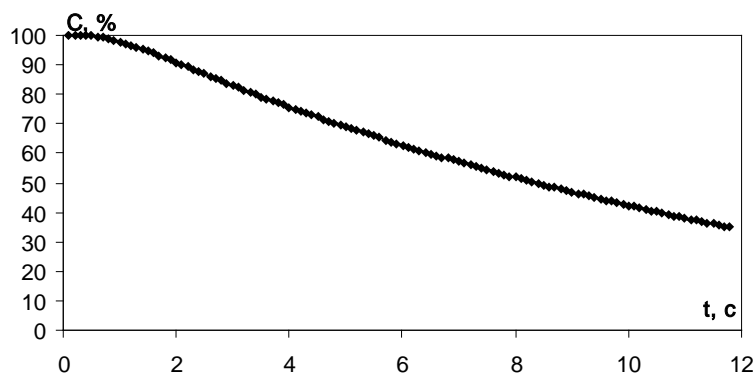


Рис. 6. Изменение концентрации пыли с течением времени

В заключении отметим, что для расчета потребовалось 10 с компьютерного времени.

**Выводы.** В работе представлена новая CFD модель для оперативного расчета процесса вентилирования тупиковых подземных выработок. Практическая реализация модели требует небольших затрат компьютерного времени. Модель позволяет повысить качество инженерных расчетов. Дальнейшее развитие данного направления связано с созданием трехмерной численной модели процесса вентилирования подземной выработки.

#### Список литературы

1. Калабин Г.В. Метод расчета аэродинамики камерообразных выработок на основе математического моделирования / Г.В. Калабин, А.А. Бакланов, П.В. Амосов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1990. – №1. – С.74–88.



2. Кременчуцкий Н.Ф. Расчет проветривания тупиковых выработок с использованием дифференциальных уравнений / Н.Ф. Кременчуцкий, О.А. Муха, Е.В. Столбченко // Науковий вісник НГУ. 2011. – №2. – С.136–139.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003. – 840 с. Роуч П. Вычислительная гидродинамика / П. Роуч. – М.: Мир, 1980. – 616 с.
4. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М.З. Згуровский, В.В. Скопецкий, В.К. Хрущ, Н.Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
5. Aminossadati, S.M. Numerical simulation of ventilation air flow in underground mine workings / S.M. Aminossadati, K. Hooman // In 12th US/North American Mine Ventilation Symposium, 2008. – P. 253-259.
6. Kurnia, J.C. CFD Simulation of Methane Dispersion and Innovative Methane Management in Underground Mining Faces / J.C. Kurnia, A.P. Sasmito, A.S. Mujumdar // Applied Mathematical Modelling, 2014. – P. 253-259.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінько В.І.  
Надійшла до редакції 20.01.2015*

УДК 622.8:681.518

© В.А. Зберовский

## **ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ВЫБРОСАМИ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА НА ОСНОВЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Рассмотрены основные аспекты создания автоматизированной информационно-управляющей системы по экологическому мониторингу окружающей среды, предупреждению и ликвидации техногенно-опасных ситуаций на горно-металлургических комбинатах.

Розглянуто основні аспекти створення автоматизованої інформаційно-керуючої системи з екологічного моніторингу довкілля, попередження та ліквідації техногенно-небезпечних ситуацій на гірничо-металургійних комбінатах.

The main aspects of the creation of an automated information management system for environmental monitoring, prevention and elimination of man-caused dangerous situations on Mining and Metallurgical Combine.

**Вступление.** Процессы добычи и переработки полезных ископаемых рассматриваются в наше время как мощный источник антропогенного действия на природную среду, что ставит в число первоочередных задач создание современной информационно-аналитической системы для мониторинга окружающей среды и принятия оперативных организационных и инженерно-технических решений относительно предупреждения техногенно-опасных

ситуаций, снижения риска опасных явлений по отрицательному влиянию на человека и природу.

Возможность значительных техногенных аварий и катастроф в горнопромышленных центрах Украины в настоящее время реальная как никогда. Возрастающая концентрация жидких отходов, токсичных, радиоактивных, горючих и взрывчатых веществ в непосредственной близости от промышленных предприятий и населенных пунктов, отсутствие достаточных сил и эффективных систем реагирования на чрезвычайные ситуации – все это несет в себе опасность катастроф регионального и трансграничного масштабов.

Среди промышленных объектов, содержащих аварийно химически опасные вещества (АХОВ), самыми многочисленными в Украине являются предприятия, использующие в технологическом цикле аммиак и хлор - свыше 50% от общего числа химически опасных объектов (ХОО).

**Цель исследования.** Целью работы является создание автоматизированной информационно-управляющей системы по экологическому мониторингу окружающей среды, предупреждению и ликвидации техногенно-опасных ситуаций на горно-металлургических комбинатах.

**Результаты исследований.** Вольногорский горно-металлургический комбинат – один из крупных в мире комплексов по добыче и переработке руд, содержащих минералы редких металлов, выпускал более 10 видов продукции, соответствующей мировым стандартам. Metallургический передел (до приостановки процесса) включал переработку циркониевого концентрата путем вскрытия его хлорным способом, потребление хлора при этом достигало 650 т/мес. Кроме того, значительное количество ХОО располагается рядом с городом Вольногорск или в черте городской застройки (водопроводные станции, предприятия пищевой промышленности, холодильники и др.), что требует принятия особых мер по обеспечению безопасности функционирования и защите населения, проживающего вблизи этих объектов, от последствий возможных техногенных аварий.

В комплекс мероприятий по защите трудящихся и населения входит решение вопросов, связанных с мониторингом, ранним обнаружением, своевременным принятием мер по локализации и ликвидации аварии. Основными из них считаются: обнаружение аварии; прогнозирование и оценка химической обстановки; оповещение руководящего состава, рабочих и населения об угрозе поражения.

Своевременное получение информации о возможной и реально сложившейся обстановке позволяет территориальным подразделениям ГО и МЧС Украины правильно принять решения по защите трудящихся и населения, привлечению сил и средств для ликвидации аварий и ведения спасательных работ в очагах химического поражения.

Решение задачи оперативного обнаружения аварии, оценки, прогнозирования и своевременного оповещения возможно только при использовании автоматизированных компьютерных систем контроля аварий и оповещения об аварии на ХОО. В последние три-четыре десятилетия во всех крупных городах мира информационное обеспечение и реализацию процесса

оперативного управления осуществляют автоматизированные системы управления системами безопасности, которые, решая текущие задачи, накапливают и обрабатывают оперативную информацию, формируя, таким образом, базы данных (БД) о деятельности систем. В последние два десятилетия значительную помощь АСУ в решении задач оперативного управления начали оказывать географические информационные системы и ГИС-технологии. В частности, с их помощью можно следить за реальным перемещением по улицам города специальной техники, ее состоянием, текущими значениями метеопараметров на объекте, использовать цифровые планы территории промышленных объектов и городов для моделирования развития очага техногенного загрязнения, проводить детальное обследование местности включая схемы водоснабжения, теплоснабжения, канализации, электросвязи, электроснабжения, газоснабжения, и т.п.

Для работы такой системы необходимы: ГИС пакет, позволяющий работать с пространственной информацией, и база данных земельных участков и объектов недвижимости на прилегающей к опасным промышленным объектам местности (земельный кадастр, кадастр недвижимости). Для иллюстрации планов развития аварийных ситуаций необходимы, как векторные цифровые электронные карты в формате выбранной ГИС, так и связанные растровые изображения различных форматов (фотопланы, аэро-космоснимки, чертежи, схемы и рисунки). Система должна содержать: специализированные текстовые БД нормативной и справочной информации, обзорные электронные карты с опасными объектами, подробные ситуационные планы опасных объектов, БД сценариев развития возможных аварий, блок моделирования фронта движения поражающего фактора при аварии на опасных объектах, расчетный блок оценки ущерба, БД для хранения результатов моделирования техногенного загрязнения.

Создание и внедрение такой системы позволяет повысить эффективность управления безопасностью промышленного объекта за счет сокращения времени для сбора и обработки информации, обеспечения наглядности, точной привязки к местности, способности моделирования обстановки с учетом особенностей местности, что повышает качество принимаемых решений по управлению ликвидацией последствий техногенного загрязнения.

Концентрация на относительно небольших территориях промышленных городов большого количества потенциально опасных объектов, ежедневные перевозки по автомобильным и железным дорогам опасных химических веществ, требуют, прежде всего, постоянного контроля за состоянием этих объектов, а также проведения целого ряда мероприятий по предупреждению техногенного загрязнения.

Главными среди них являются меры по снижению вероятности возникновения аварий и катастроф. С этой целью необходима работа по установлению и декларированию безопасности промышленных объектов, введению системы лицензирования в области предупреждения техногенного загрязнения и защиты населения, усилению государственной экспертизы надзора и контроля в этой области. Безусловно, что для принятия обоснованных решений по реализации комплекса организационных и инженерно-технических

мероприятий, предупреждения техногенного загрязнения необходимо адекватно оценивать риск возможных аварий.

Эффективным методом экономического регулирования мер по предупреждению техногенных аварий становится страхование. Представляется, что страхование ответственности и персонала высокорисковых объектов должно быть обязательным. Определение страховых тарифов - это одна из самых сложных проблем. Ее решение должно основываться не только на статистических данных о техногенной аварии, но и на результатах анализа риска аварии в промышленных городах и регионах.

Важной составляющей деятельности по предупреждению аварий является мониторинг опасных выбросов на горнодобывающих, горно-металлургических и перерабатывающих предприятиях.

Имеющиеся локальные системы контроля ввиду близости потенциально опасных объектов к районам жилой застройки недостаточно эффективны и информативны. Для выработки решения на организацию спасательных мероприятий, существующий порядок представления экстренной информации при авариях через диспетчерские службы предприятий имеет недостатки по срокам и характеру передачи информации и зачастую позволяет руководителям скрывать истинную тяжесть бедствий.

Для устранения этих недостатков необходимо создание интегрированной ГИС-системы, которая позволит повысить оперативность получения информации о факте аварии, оценить угрожаемое направление и организовать защиту и спасение людей в реальном масштабе времени.

При угрозе возникновения и ликвидации аварий техногенного характера важная роль принадлежит своевременности оповещения. Сегодня эту задачу решают дежурные диспетчерские органы городских служб, а именно, штабы по делам ГО и ЧС, государственные противопожарные службы, экстренной медицинской помощи, службы коммунального хозяйства, милиции, ГАИ и др. Они находятся в постоянной готовности к действиям и уполномочены принимать решения для осуществления необходимых экстренных мер. Однако эти дежурные диспетчерские службы организационно разобщены и технически не обеспечены для решения задач в реальном масштабе времени.

Кардинально изменить негативную тенденцию роста социального и материального ущерба от воздействия химически опасных веществ различного вида на горно-металлургических объектах, как известно, можно лишь применив следующие новые направления, при создании систем экологической безопасности.

1. Интеграция систем безопасности (аварийной, пожарной, охранной, информационной, экологической и др.), а также объединение или координация систем безопасности с системами жизнеобеспечения (связи, электро-, тепло- и водоснабжения, вентиляции и др.), что позволяет экономить до 30-40% средств на создание систем.

2. Использование новых информационных, коммуникационных, организационных и иных технологий, реализуемых на современных программно-технических средствах сбора, хранения, передачи, обработки и

отображения информации, что позволяет использовать новые, современные компьютерные технологии и технологические принципы построения средств мониторинга, обнаружения, локализации, подавления и устранения опасных факторов.

Перспективным является использование новых технологий в обучении сотрудников служб безопасности, в частности, применение мультимедийных, гипертекстовых систем, тренажерных комплексов на базе систем с виртуальной реальностью и т.д.

3. Оптимизационное проектирование систем. Создание автоматизированных систем безопасности дает возможность находить оптимальные решения как при проектировании, так и при эксплуатации систем. В качестве критериев оптимальности могут использоваться: время и стоимость проектирования и эксплуатации систем, величина риска или вероятность возникновения опасного фактора; время подавления или ликвидации этого фактора; время прибытия оперативных сил и средств специальных и экстренных служб на место происшествия и т.д.

4. Автоматизация проектирования систем безопасности и жизнеобеспечения объектов как большой и сложной системы с большим числом элементов и связей между ними. Использование ПЭВМ с достаточно большими памятью и быстродействием и соответствующего периферийного оборудования позволяет значительно сократить время и стоимость проектирования систем с выполнением соответствующих оптимизационных расчетов, т.е. решать задачу оптимального проектирования.

5. Создание адекватной и эффективно функционирующей системы безопасности, действующей на всех этапах жизненного цикла объекта и на всех этапах существования опасностей.

7. Моделирование и прогнозирование процессов возникновения и развития опасных факторов, их воздействия на персонал, оборудование и окружающую среду, выработка упреждающих управляющих воздействий на объект, технологический процесс или на механизм появления и распространения угрозы с целью ее минимизации или ликвидации.

В Западной Европе, где подобные системы созданы, общее число техногенных аварий и катастроф сократилось за последние 15 лет в 7-10 раз.

Предлагаемый вариант создания такой автоматизированной информационно-управляющей системы по предупреждению и ликвидации техногенно-опасных ситуаций для Вольногорского ГМК включает в себя восемь автоматизированных рабочих мест (АРМ) для специалистов комбината: «Администратора системы» (управление базами данных); «Системы жизнеобеспечения» (накопление, хранение и обработка информации об объектах систем жизнеобеспечения); «Защитные сооружения» (накопление, хранение и обработка информации о защитных сооружениях); «Донесения» (работа со стандартными донесениями по формам отчетности); «Природные чрезвычайные ситуации» (накопление, хранение и обработка информации о природных чрезвычайных ситуациях); «Реестр аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных формирований» (накопление, хранение и

обработка информации об аварийно-спасательных и аварийно-восстановительных формированиях, которые могут быть привлечены для ликвидации аварийной ситуации); «Потенциально опасные объекты» (накопление, хранение и обработка информации о потенциально опасных объектах); «Ликвидация ЧС» (формирование оптимального состава сил и средств для ликвидации конкретной чрезвычайной ситуации).

Разработка программного обеспечения ведется с использованием программных продуктов Arc View, Arc/Info, MapObjects фирмы ESRI. При помощи этого программного обеспечения была создана единая картографическая система данных, включающая электронную карту Вольногорского ГМК и г. Вольногорска.

В комплексе картографическая система обеспечивает следующие функции:

- ввод картографической информации о всех аспектах состояния экосистемы « Вольногорский ГМК- Окружающая среда - Человек» в любые базы данных;

- визуализацию информационных слоев;

- последовательную визуализацию атрибутивной информации, содержащейся в базе данных;

- получение статистической информации о параметрах, определяющих палитру и структуру любого слоя;

- совмещение любых слоев друг с другом, фильтрацию слоев и наложение их друг на друга для сравнительного анализа;

- осуществление поиска картографических объектов по их атрибутам;

- решение прикладных задач с использованием метода математико-картографического моделирования;

- просмотр состояния ситуации территории одновременно на нескольких слоях и привязанных к ним базах данных;

- изменение масштаба изображения карты на дисплее при выводе на твердую копию в соответствии с поставленной задачей;

- возможность редактирования карты (слоя) при ее визуализации на дисплее.

Учитывая единообразие функций работы с картографической информацией разрабатывается единый геоинформационный модуль, входящий в состав каждого из восьми АРМов.

Создание модуля ведется на основе компонентов пакета разработчика ГИС приложений MapObjects. Модуль обеспечивает выполнение следующих функций:

- отображение стандартных покрытий электронных карт и дополнительных покрытий, заданных программно;

- интерактивное управление отображением покрытий;

- интерактивное управление масштабом отображения карты;

- создание и редактирование точечного покрытия АРМа;

- интерактивный выбор, подсветка объектов на активном покрытии;

- интерактивная запись образа карты в файл или буфер обмена;

- интерактивная распечатка карты.

Создание модуля обеспечит быстрый и удобный доступ к картографической информации и ее комплексной визуализации, предоставит наиболее прогрессивные функции управления данными, а также позволит снизить трудозатраты на разработку системы по предупреждению и ликвидации экологически- опасных аварий и ситуаций для Вольногорского ГМК и облегчит ее освоение конечными пользователями.

Прогнозирование устойчивости экосистемы «Вольногорский ГМК - Окружающая среда - Человек» осуществляется моделированием в картографической форме путем построения серии аналитических прогнозно-оценочных карт по одному или нескольким расчетным критериям, которые в комплексе служат основой расчетов и построения карты устойчивости экосистемы, систематизирующей все эти данные. Карта устойчивости строится на всю площадь зоны ее влияния на окружающую среду в заданном масштабе в зависимости от площади экосистемы. По данным, получаемым в процессе режимных наблюдений, моделируется ряд критических значений параметров, определяющих устойчивость контролируемой территории. Среди них:

- степень техногенной нарушенности ландшафтов территории;
- средний уровень загрязнения ландшафтов;
- скорость загрязнения;
- вероятность возникновения аварийных ситуаций;
- вероятный ущерб окружающей среде в результате возникновения аварий.

Для организации базы данных оценки состояния территории могут использоваться:

- данные аэрокосмического зондирования;
- картографические материалы с системами их условных обозначений и экспликациями;
- исходные картографические данные, получаемые из различных источников (топографические, ресурсные, коммуникационные и др.) в традиционной и цифровой формах;
- результаты наземных режимных наблюдений в табличной и графической формах.

На рис. 1 приведена общая схема системы экологического мониторинга ГОКа с применением ГИС-технологий, на рис. 2 - схема послойного построения типовых карт.

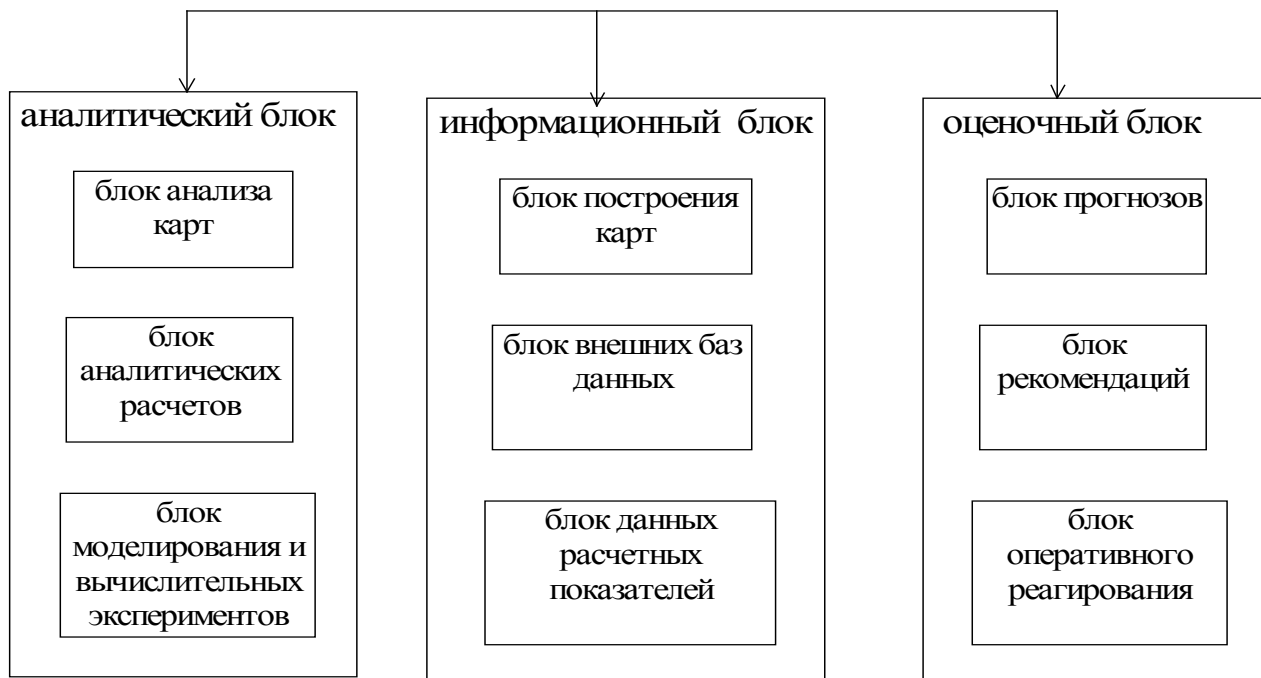


Рис. 1. Общая схема системы экологического мониторинга ГОКа с применением ГИС-технологий

В качестве примера, рассмотрена задача прогнозирования последствий аварий на химически опасных объектах на территории ГМК и города. Система основана на моделировании области заражения и выявлении попавших в зону заражения объектов.

Приложение построено на базе цифровой векторной карты города, что позволяет реализовать тематический подход к определению попавших в зону заражения объектов (социальных объектов, строений, улиц, дорог). Пространственные объекты имеют атрибутивные таблицы, позволяющие получать информацию как о самих объектах, так и о населении, оказавшемся в области заражения.

Прогнозирование последствий аварии с выбросами отравляющих веществ заключается в расчете базовых параметров области заражения и построении сектора заражения на векторной карте.



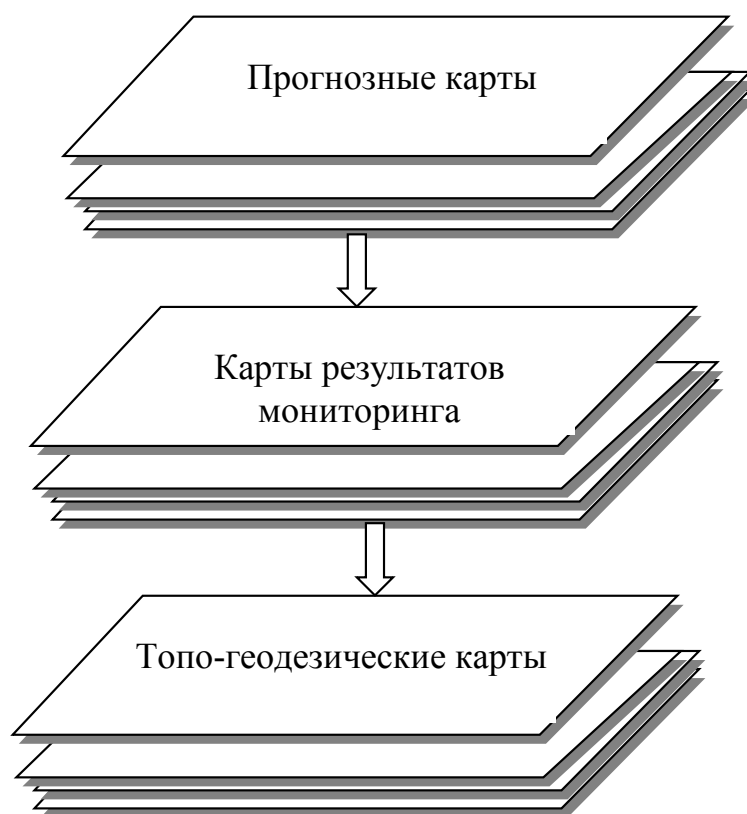


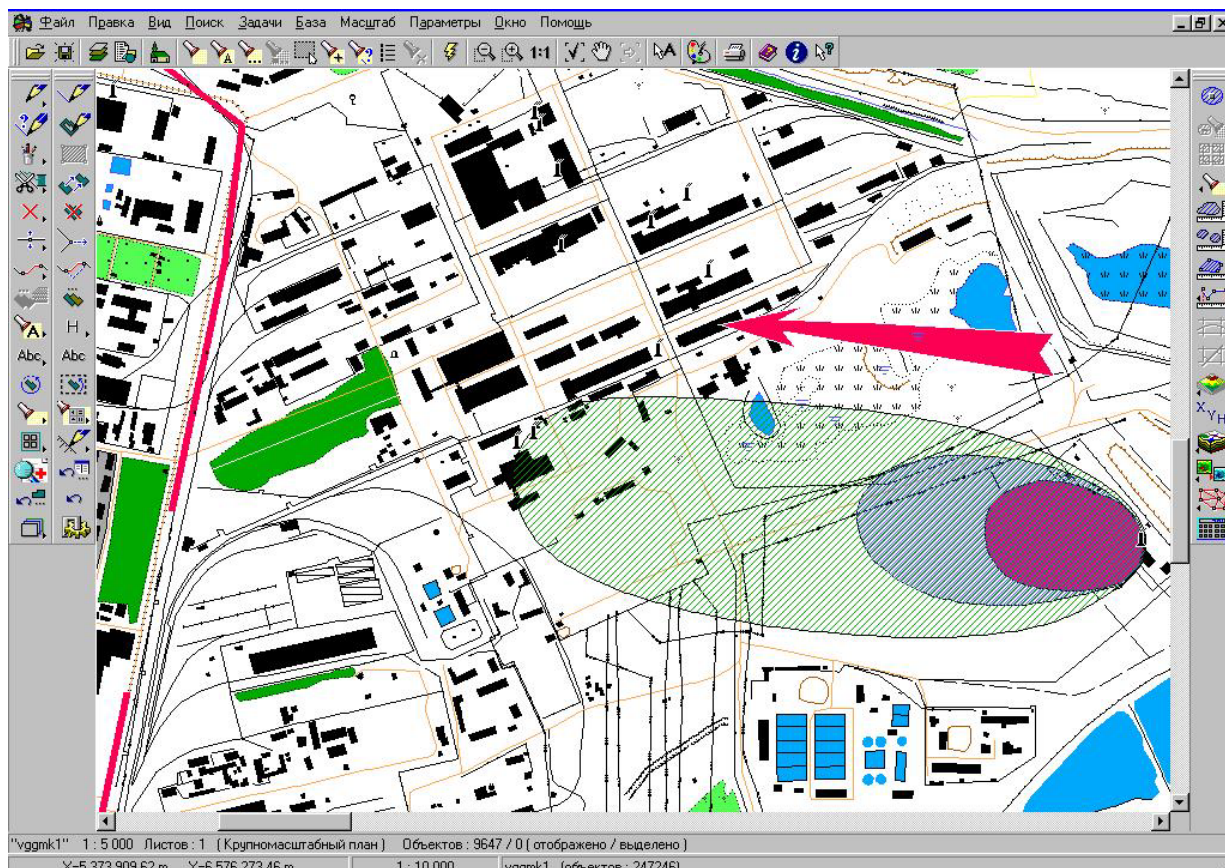
Рис. 2. Схема послойного построения типовых карт

Расчет параметров области заражения проводится на основании характеристик отравляющего вещества (объекта, хранения, вида вещества, массы выброса, типа разлива) и параметров окружающей среды (температура воздуха и почвы, направление и скорость ветра, вертикальная устойчивость воздуха, наличие осадков и т.п.), учет особенностей местности (тип подстилающей поверхности и рельефа по секторам). Возможен учет факторов, влияющих на возможное количество жертв среди населения и степень тяжести поражения пострадавших (обеспеченности средствами защиты, времени года и суток). Математическая модель базируется на расчетах, принятых в специальной литературе по предупреждению аварий и защите населения и используется в подразделениях МЧС с учетом специально разработанной методики расчета параметров области заражения при распространении облака вещества и его взаимодействии с окружающей средой.

Построение области заражения является отдельной темой исследования и включает расчет зоны заражения первичным и вторичным облаком и усредненную по времени зону заражения. В результате анализа области заражения первичным облаком (как максимальной) выполняется выборка объектов, попавших в данную зону, далее из базы данных берутся их характеристики и сведения о населении, находящемся в пределах зоны заражения. На завершающем этапе рассчитывается количество смертельных исходов, средней и легкой степени поражения по статистическим закономерностям. Приложение

позволяет отслеживать динамику распространения области заражения и получать обобщенный отчет по каждому этапу.

Предварительные результаты моделирования распространения в атмосфере аварийно химически опасных веществ в условиях Вольногорского ГМК приведены на рис. 3.



## Выводы.

1. Рассмотрены основные аспекты создания автоматизированной информационно-управляющей системы по экологическому мониторингу окружающей среды, предупреждению и ликвидации техногенно-опасных ситуаций на горно-металлургических комбинатах.

2. Предложен вариант создания автоматизированной информационно-управляющей системы по предупреждению и ликвидации техногенно-опасных ситуаций для Вольногорского ГМК, включающей в себя восемь автоматизированных рабочих мест.

3. С использованием программных продуктов Arc View, Arc/Info, MapObjects создана единая картографическая система данных, включающая электронную карту Вольногорского ГМК и г. Вольногорска.

4. Дана общая схема системы экологического мониторинга ГОКа с применением ГИС-технологий и схема послойного построения типовых карт.

5. Рассмотрена задача прогнозирования последствий аварий на химически опасных объектах горнодобывающих, горно-металлургических и перерабатывающих предприятиях и на территории города.

6. Представлены предварительные результаты моделирования распространения в атмосфере аварийно химически опасных веществ в условиях Вольногорского ГМК.

#### Список литературы

1. Мельник І.В. Еколого-економічна оцінка забруднення території Київської області з застосуванням ГІС; Автореф. дис. на здоб. наук. ст. канд. геол. наук. – Київ: Київський університет ім. Т. Шевченка. – 1996. – 21 с.
2. Кошкарёв А.В. Инфраструктура пространственных данных // ГИС-обозрение, 2000.-№ 3-4. – С. 5–10.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собко Б.Ю.  
Надійшла до редакції 20.01.2015*

УДК 551.5 (075.8)

© А.В. Зберовский, Е.Н. Савотченко

### **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЫЛЕГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТАХ В КАРЬЕРАХ**

В работе дана комплексная экологическая оценка воздействия на окружающую среду пылегазовых выбросов при взрывных работах в карьерах.

У роботі дана комплексна екологічна оцінка впливу на навколишнє середовище пилогазових викидів при вибухових роботах в кар'єрах.

In work the complex environmental assessment of the environmental impact of dust and gas emissions from blasting in quarries.

**Введение.** Интенсивное развитие карьеров привело к катастрофическим экологическим и социальным последствиям. Ежегодно на карьерах и ГОКах области в атмосферу выбрасывается около 600 тысяч тонн вредных веществ, в т.ч. более 70 тысяч тонн твердых и более 500 тысяч тонн газообразных и жидких веществ. Вызывают тревогу факты роста профессиональной заболеваемости рабочих основных профессий в карьерах, повышение детской смертности и снижение на 4-6 лет длительности жизни населения в горнодобывающих регионах Украины.

Открытый способ разработки, рудных месторождений как наиболее экономичный и эффективный развивается во всем мире и в ближайшем будущем следует ожидать увеличения объема буровзрывных работ, роста

глубины карьеров до 500-600 м, что приведет к усилению загрязнения атмосферы в зоне деятельности горных предприятий. Буровзрывные работы, как основной способ добычи полезных ископаемых, остается пока единственным эффективным средством разрушения горных пород, несмотря на его пагубное воздействие на окружающую среду из-за выброса в атмосферу пылегазового облака (ПГО).

За последние годы на карьерах Кривбасса число массовых взрывов уменьшилось с 200-250 до 100-120, в связи с чем снизился и объем вредных выбросов приблизительно в 2 раза, однако задача эффективного подавления ПГО и защиты окружающей среды от вредных выбросов до настоящего времени не решена. В этой связи, выполнение комплексной экологической оценки воздействия пылегазовых выбросов при взрывных работах в карьерах, остается актуальной научно-прикладной задачей.

**Формулирование цели статьи.** Целью исследований является экологическая оценка техногенного воздействия пылегазовых выбросов при взрывных работах в карьерах.

**Методы исследований.** Для решения проблем, связанных с особенностями техногенного воздействия пылегазовых выбросов при взрывных работах в карьерах были использованы методы натуральных наблюдений за распространением ПГО в атмосфере, лабораторные методы биологических и почвенных исследований, компьютерная обработка результатов экспериментов.

**Изложение основного материала исследований.** Анализ данных Министерства экологии и природных ресурсов Украины показал, что за 2013 год выброс вредных веществ от горнодобывающей промышленности Днепропетровской области составил более 221 тыс. т, а именно 23,5% от общего выброса вредных веществ всех видов промышленности региона. Наибольшее количество вредных выбросов отмечается при массовых взрывах на карьерах ПАО «Южный ГОК», ПАО «Северный ГОК» и ПАО «Центральный ГОК», ПАО «ИнГОК», которые входят в список основных загрязняющих предприятий атмосферной среды Днепропетровской области. Вследствие деятельности этих предприятий в период 2006-2013 гг. в атмосферу было выброшено более 171,2 тыс.т. пыли, более 41 тыс. т окиси азота, более 56 тыс. т двуокиси серы и приблизительно 556,7 тыс. т окиси углерода. Общий объем пылегазовых выбросов этих горно-обогатительных комбинатов составил 825,7 тыс. т.

На примере Первомайского карьера были выполнены натурные исследования распространения пылегазового облака в атмосферу, установлены фактические значения концентрации пыли в ПГО на различном удалении от карьера и дано сопоставление по содержанию 9 химических элементов в ПГО и почве. На рис. 1 приведена диаграмма содержания химических элементов в почве и в пыли ПГО, которая подтверждает биоэкологическую опасность ПГО в связи с наличием ядовитых элементов Pb, Mn, Cr.

Графоаналитический анализ полученных данных позволили установить закономерность изменения на расстоянии до 10 км концентрации пыли по оси факела ПГО на уровне 2 м от земли по мере его удаления от карьера при взрыве

зарядов объемом 500-800 т. На рис. 2 приведена зависимость изменения концентрации пыли в ПГО от расстояния.

Установлено, что при распространении ПГО в направлении ветрового потока концентрация пыли на оси факела облака описывается уравнением вида:

$$C = 7124,4L^{-1,2331}, \text{ при: } R^2 = 0,73$$

Полученное уравнение можно использовать для приближенной оценки загрязнения атмосферы и почвы пылью из ПГО и определения размеров территории сельскохозяйственных угодий с возможным нарушением почвенного баланса под воздействием химических элементов, содержащихся в пыли ПГО.

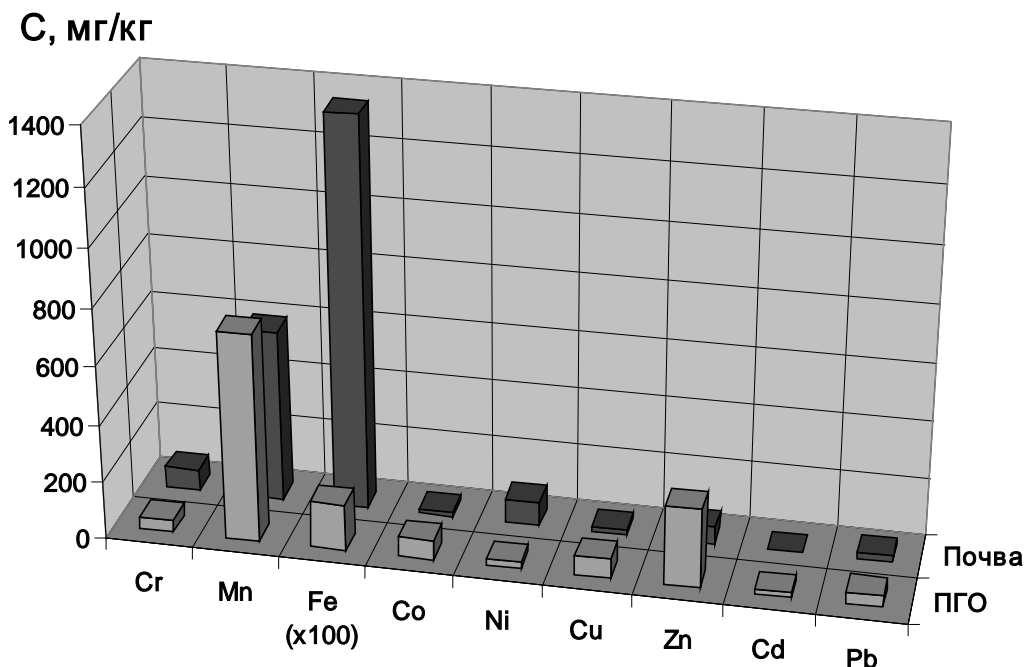


Рис. 1. Диаграмма содержания химических элементов в почве и в пыли ПГО

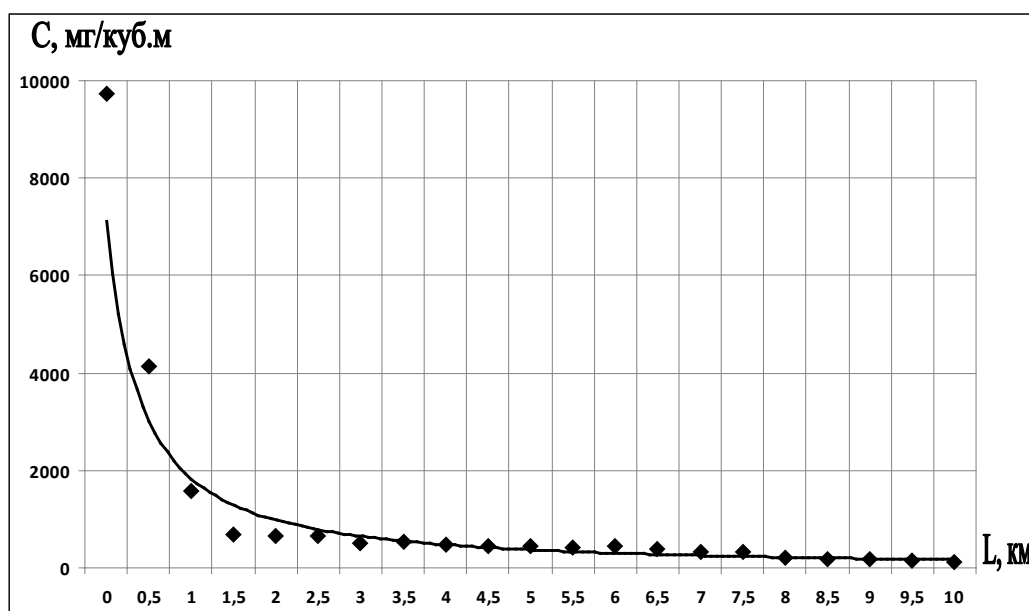


Рис. 2. Изменение концентрации пыли (C) в ПГО вдоль факела его распространения на разном удалении от карьера (L)

Для оценки влияния карьерных выбросов на загрязнение почв и растений (на примере ценопопуляции акации белой) были использованы следующие методы исследований. Определение металлов в пробах растений и почвы проводилось атомно-абсорбционным методом. Изучение генетических последствий влияния комплекса антропогенных факторов на высшие растения проводили на временных давленных препаратах из корневой меристемы проростков семян по общепринятым методикам: биологический материал фиксировали в ацеталкоголе, окрашивание осуществляли по фельгену, использовали анафазно-телофазный анализ (по каждому опытному и контрольному варианту было просмотрено не менее 1000 анафаз). Устанавливали количество золы в растениях и почве, массу 1000 семян, процент леталей зародышей семян, количество хлорофилла и активность пероксидазы листьев. Математическая обработка данных проводилась с помощью пакета прикладных программ на ПЭВМ. Контрольными были выбраны два района – район Карачуновского водохранилища и села Бабайковка Магдалиновского района.

По результатам исследований, составлена таблица значений концентраций элементов в растениях и почве, которые являются фоновыми для Приднепровского региона (табл. 1) и которые легли в основу расчета коэффициентов аномалий концентраций элементов в разных компонентах фитоценозов.

Результаты анализа растений и почвы на содержание в них 17 элементов представлены в таблице 2 в сопоставлении с химическим составом пыли в ПГО при взрывах на карьерах СевГОКа. Спектр загрязнения растений и почв в зависимости от величины коэффициента аномалии концентрации элемента показан на рисунке 3.

Таблица 1.

Фоновое содержание элементов (мг/кг сухого вещества)

Элемент	Листья растений		Почва (чернозем)	
	Пределы колебаний	среднее	Пределы колебаний	среднее
Магний	200-31000	4000	1000-14000	4000
Хром	0,02-0,5	0,10	2-120	30
Марганец	19-400	100	30-1100	600
Железо	18-1000	500	1000-45000	22000
Кобальт	0,02-60	6	0,5-50	9
Никель	0,1-5	4	10-40	10
Медь	1-10	9,3	1,6-70	20
Цинк	10-150	20	10-82	30
Кадмий	0,07-1,3	1	0,6-0,7	1
Свинец	0,1-20	10	1-189	10
Алюминий	1000	300	4500-100000	30000
Кальций	5000-30000	20000	8000-50000	20000
Серебро	0,03-0,5	0,45	0,03-8	0,6
Молибден	0,2-20	1	1,6-4,6	2,6
Калий	500-12000	10000	17500-25000	20000
Натрий	200-1000	5000	до 70000	2000

Установлено, что растения, произрастающие на территории Первомайского карьера СевГОКа в очень высоких концентрациях накапливают железо (в 9 раз выше фона), никель (в 5 раз выше фона), кадмий (в 6 раз выше фона), фтор (в 3 раз выше фона). Для почв характерно загрязнение железом, никелем, цинком, кадмием, кальцием. Спектры загрязнения растений и почвы очень широки, но не идентичны.

Было проведено исследование уровня мутирования у растений тест-полигонов г. Кривого-Рога. Анализ уровня мутирования показал, что в контрольных популяциях частота перестроек хромосом в меристематических тканях корешков семян акации белой составляет 0,8% что примерно в 15 раз ниже, по сравнению с изучаемым районом – это чрезвычайная ситуация, которая может привести к непредсказуемым последствиям.

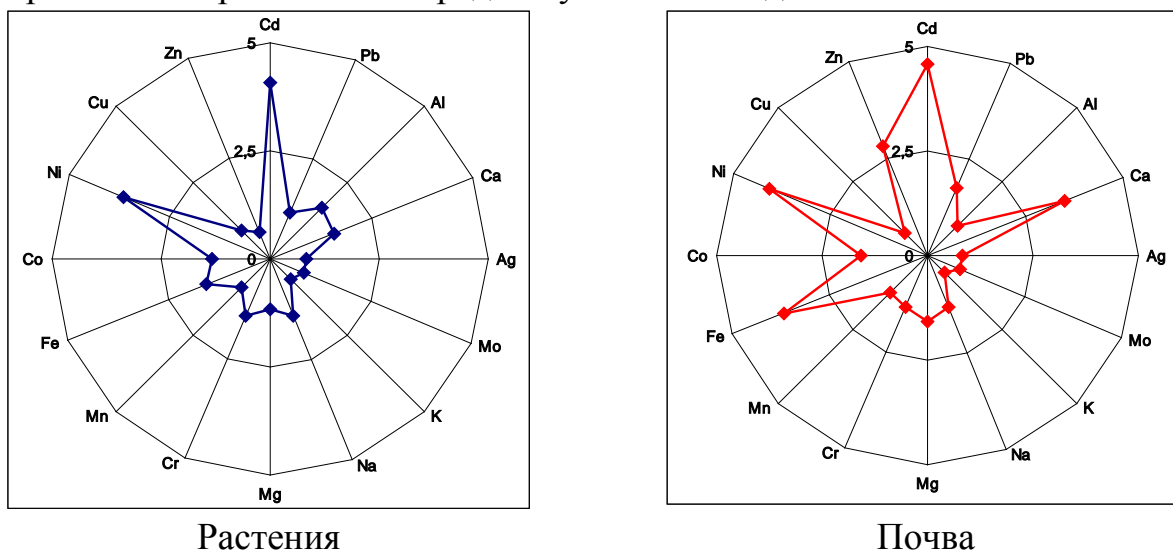


Рис. 3. Спектр загрязнения металлами растений и почв в районе карьера СевГОКа

Таблица 2.

Содержание элементов в ПГО, в растениях и почве (мг/кг сухого вещества)

Элемент	СевГОК			Карачуны			Бабайковка (контроль)			ПГО, мг/кг
	листья	семена	почва	листья	семена	почва	листья	семена	почва	
Mg	4500	1900	10900	3500	1700	3100	3600	1900	3600	-
Cr	15	10	56	19	10	40	10	10	34	37
Mn	80	40	620	100	30	450	10	40	500	800
Fe	4000	230	140700	1100	400	21500	900	370	16170	15000
Co	11	8	19	8	7	11	6	7	10	63
Ni	20	10	83	62	8	34	9	5	13	25
Cu	8	14	18	10	25	12	9	7	13	67

Zn	10	58	58	14	41	41	16	16	41	259
Cd	2	1	3	1	1	1	1	1	1	14
Pb	15	10	23	10	10	17	10	9	9	35
Al	600	600	39700	200	50	25400	500	480	30000	-
Ca	48000	3500	28000	52000	3000	9000	21000	3200	10000	-
Ag	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-
Mo	20	20	20	20	20	20	20	20	20	-
K	10400	11800	10800	12500	9500	10000	11400	12900	8600	-
Na	800	500	1300	500	500	3000	1300	500	2800	-
F	25	1,5	641	0,9	0,8	262	20	1	336	-

Жизнеспособность семян в районе СевГОКа на 81% меньше, чем у семян контрольного тест-полигона, это свидетельствует о том, что техногенные популяций растений практически не способны к самовоспроизведению и самовосстановлению.

Установлено значительное увеличение активности пероксидазы в городских условиях зоны СевГОКа, в среднем на 30% больше, чем в контроле. Для растений сельской местности (в среднем на 21% меньше, чем в контроле). Результаты биологических исследований представлены в таблице 3.

Таблицы 3.

#### Биоиндикационная характеристика состояния фитоценозов

Показатель	Место исследований		
	СевГОК	Карачуны	Бабайковка (контроль)
Масса 1000 семян, г	19,2	23,1	19,1
Летали зародышей, %	73,1	87,7	41,1
Частота aberrаций хромосом, %	14,2	3,2	0,8
Содержание хлорофилла	3,2	3,3	4,2
Активность пероксидазы	3,9	3,0	2,9
Интегральный показатель состояния растений	3,6	3,3	-

Для оценки последствий загрязнения почв при взрывных работах в карьерах были проведены исследования изменения биологической активности основных почвенных ферментов (уреазы, фосфотазы и инвертазы) под воздействием пыли ПГО. В таблице 4 приведены результаты опытов по изучению токсичности пыли ПГО в плане угнетения биологической активности почвы. Установлено, что наличие пыли в ПГО в почве в количестве 100 мг на 1 кг почвы снижает активность уреазы на 14%, а инвертазы на 13%, что может привести к снижению способности почв к самоочищению.



Таблица 4

Изменение биологической активности почвенных ферментов под воздействием пыли ПГО

Вариант опыта	Доза, мг/кг	Показатели биоактивности ферментов		
		Уреаза	Фосфотаза	Инвертаза
Контрольный (без пыли)	0	100	100	100
С внесением пыли в почву	10	96	96	93
	100	86	96	87

Оценка токсичности пыли ПГО была выполнена также путем исследования ее влияния на рост и урожай сельскохозяйственных культур ячменя и сои. Выращивание культур выполнялось на грунтах двух видов: «песок + глина» в соотношении 4:1 и «песок» с внесением в грунт фактической пыли, полученной из ПГО при взрывах на карьере Первомайский в соотношении 1 г пыли на 100 г субстрата (1% доза). В таблице 5 приведены результаты исследований, которые показывают, что токсичность пыли ПГО зависит от состава субстрата, причем с повышением содержания в нем физической глины на 20% токсичность пыли ПГО возрастает в 1,7-2,6 раза.

Таблица 5

Оценка фитотоксичности пыли ПГО

Тип растения	Доза, %	Коэффициент фитотоксичности пыли (К)	
		песок + глина (4:1)	песок
Ячмень	1	0,26	0,1
Соя	1	0,12	0,07

$$K = \frac{m_0 - m_1}{m_0},$$

где:  $m_0$  – урожай на контроле,  $m_1$  – урожай на загрязненном субстрате.

#### Выводы:

1. Выполнены натурные исследования распространения пылегазового облака в атмосферу, установлены фактические значения концентрации пыли в ПГО на различном удалении от карьера и дано сопоставление по содержанию 9 химических элементов в ПГО и почве.

2. По результатам исследований, составлена таблица значений концентраций элементов в растениях и почве, которые являются фоновыми для Приднепровского региона и которые легли в основу расчета коэффициентов аномалий концентраций элементов в разных компонентах фитоценозов.

3. Установлена формула приближенного расчета концентрация пыли на оси факела облака. Полученное уравнение можно использовать для оценки загрязнения атмосферы и почвы пылью из ПГО и определения размеров территории сельскохозяйственных угодий с возможным нарушением почвенного баланса под воздействием химических элементов, содержащихся в пыли ПГО.

4. Установлено, что растения, произрастающие на территории Первомайского карьера СевГОКа в очень высоких концентрациях накапливают железо (в 9 раз выше фона), никель (в 5 раз выше фона), кадмий (в 6 раз выше фона), фтор (в 3 раз выше фона). Для почв характерно загрязнение железом, никелем, цинком, кадмием, кальцием.

5. Жизнеспособность семян в районе СевГОКа на 81% меньше, чем у семян контрольного тест-полигона, это свидетельствует о том, что техногенные популяций растений практически не способны к самовоспроизведению и самовосстановлению.

6. Установлено, что наличие пыли в ПГО в почве в количестве 100 мг на 1 кг почвы снижает активность уреазы на 14%, а инвертазы на 13%, что может привести к снижению способности почв к самоочищению.

7. Токсичность пыли ПГО зависит от состава субстрата, причем с повышением содержания в нем физической глины на 20% токсичность пыли ПГО возрастает в 1,7-2,6 раза.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собко Б.Ю.  
Надійшла до редакції 20.01.2015*

УДК 504.064

© В.Е. Колесник, Ю.В. Бучавый, А.Ю. Михайлов

## **МОНИТОРИНГ ПРИОРИТЕТНЫХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ АТМОСФЕРЫ ДНЕПРОПЕТРОВСКА**

Выполнен анализ динамики экологически опасных загрязнителей атмосферы в Днепропетровске. Дан прогноз ожидаемых концентраций некоторых загрязнителей с учетом метеорологических факторов. Выбрано техническое решение для уменьшения влияния выбросов загрязняющих веществ на участках с большим потоком автотранспорта.

Виконано аналіз динаміки екологічно небезпечних забруднювачів атмосфери в Дніпропетровську. Дано прогноз очікуваних концентрацій деяких забруднювачів з урахуванням метеорологічних факторів. Обрано технічне рішення для зменшення впливу викидів забруднюючих речовин на ділянках з великим потоком автотранспорту.

The dynamics of environmentally hazardous air pollutants in Dnepropetrovsk was analysed. The forecast of the expected concentrations of certain pollutants, taking into account meteorological

factors are suggested. The technical solution to reduce the impact of emissions in areas with a large flow of vehicles was recommended.

**Постановка задачи.** Для мониторинга окружающей среды, в частности атмосферного воздуха, на территории Днепропетровской области, в городах Днепропетровск, Днепродзержинск и Кривой Рог действует сеть постов наблюдения. В частности, в г. Днепропетровске работает лаборатория наблюдения за загрязнением окружающей среды (ЛНЗОС), которая в настоящее время входит в состав Днепропетровского областного центра гидрометеорологии. Для регулярных наблюдений в городе оборудованы посты, которые представлены на картосхеме города пронумерованными треугольниками (рис.1).

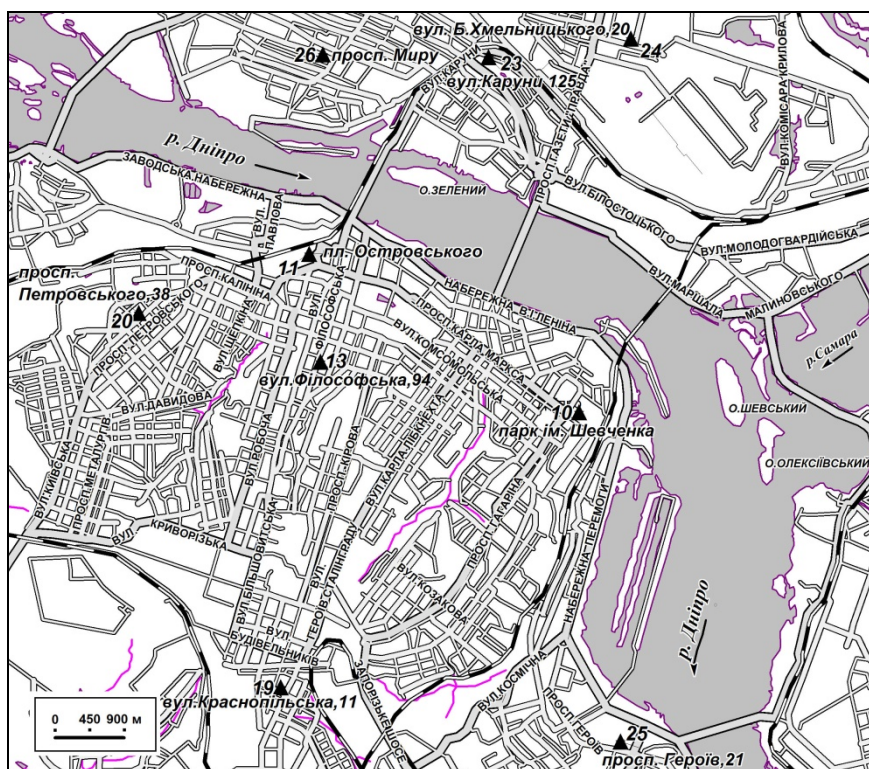


Рис. 1. Сеть постов наблюдения за загрязнением воздуха в городе

На этих постах одновременно с отбором проб воздуха определяются метеорологические параметры, в частности направление и скорость ветра, температура воздуха, а также состояние погоды и подстилающей поверхности.

На основе лабораторных данных авторами ставилась задача анализа динамики экологически опасных загрязнителей атмосферы в г. Днепропетровске, прогноза ожидаемых концентраций этих загрязнителей и уменьшения их влияния на городскую среду.

**Основные результаты.** Главными источниками загрязнения воздуха в городе, являются выбросы предприятий промышленной отрасли: металлургии, энергетики, химической промышленности, а также производство строительных материалов, которые широко представлены в Днепропетровске. Вклад в

загрязнение городского воздуха вносят выбросы автотранспорта, а также выбросы многочисленных котельных и других источников.

Очевидно, что выбросы указанных объектов в атмосферу города представляют определенную угрозу для его населения. Поэтому нами, в первую очередь, анализировалась динамика содержания приоритетных загрязнителей, при этом анализировались и другие загрязнители, включая тяжелые металлы. Для оценки из динамики обобщались результаты наблюдений за 5 лет с 2008 по 2012 год, которые представлены в табл.1.

Таблица 1

Изменение среднего уровня ( $q_{cp}$ ) загрязнения атмосферного воздуха по г.Днепропетровску за 5 лет (2008 – 2012 гг.)

№ п/п	Примеси	ПДК	Значения показателя $q_{cp}$ /по годам, мг/м <sup>3</sup>					Тенденция «Т»
			2008	2009	2010	2011	2012	
1	Пыль (взвеси)	0,15	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	+0,02
2	Двуокись серы	0,05	0,005	0,004	0,004	0,005	0,006	+0,0003
3	Оксид углерода	3	2	2	2	2	3	+0,2
4	Двуокись азота	0,04	0,09	0,07	0,07	0,09	0,09	+0,002
5	Оксид азота	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0
6	Сероводород	0,008	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	+0,0001
7	Фенол	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	+0,0001
8	Аммиак	0,004	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	+0,003
9	Формальдегид	0,003	0,013	0,007	0,009	0,010	0,011	+0,0001
10	Бенз/а/пирен * 10 <sup>-6</sup> мг/м <sup>3</sup>	0,000001	1,6	0,8	0,9	0,9		
11	Кадмий	0,0003	0,006	0,01	0	0,002	0,0008	-0,0018
12	Железо	0,04	0,85	1,27	0,59	0,70	0,74	-0,079
13	Марганец	0,001	0,06	0,07	0,04	0,04	0,04	-0,0066
14	Медь	0,002	0,06	0,15	0,11	0,07	0,03	-0,0136
15	Никель	0,001	0,004	0,02	0,01	0,01	0,008	-0,0001
16	Свинец	0,0003	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	-0,0018
17	Хром	0,0015	0,003	0,01	0,008	0,01	0,01	+0,0014
18	Цинк	0,05	0,06	0,06	0,09	0,07	0,06	+0,0008

Как видим, концентрации загрязнителей атмосферного воздуха, представленных в позициях 1-9 в таблицы, а также содержание тяжелых металлов хрома и цинка (позиции 17, 18) имеют тенденцию к увеличению. Остальные тяжелые металлы (позиции 11–16) имеют тенденцию к убыванию. Содержание бенз/а/пирена можно считать установившимся на уровне  $0,9 \times 10^{-6}$  мг/м<sup>3</sup>.

Проанализируем индексы наиболее опасных с экологической точки зрения загрязнителей атмосферы в г. Днепропетровске (табл. 2).

Таблица 2

Индексы загрязнения атмосферы (ИЗА) в Днепропетровске за 2011-2012 г.

ИЗА		Приоритетные примеси	Отрасли промышленности, предприятия которых существенно влияют на состояние загрязнения воздуха
2011	2012		
4,17	5,41	Формальдегид	Металлургия, энергетика, химическая промышленность, автотранспорт, производство строительных материалов
1,69	2,25	Двуокись азота	
1,33	2,00	Пыль (взвеси)	
1,22	1,22	Аммиак	
0,75	1,00	Фенол	
<b>9,16</b>	<b>11,88</b>	Комплексный (суммарный) ИЗА города	

Как видим, наибольший индекс загрязнения атмосферы в городе имеет формальдегид, вклад которого в комплексный (суммарный) ИЗА города составляет около 45 %. Далее следует двуокись азота (вклад – 18-19 %) и пыль (взвесь), вклад которой составляет 15-17 %. Вклады аммиака и фенола составляют оставшиеся 19-22 %.

Характерно, что суммарный индекс загрязнения городского воздуха по приоритетным загрязнителям, включая формальдегид, диоксида азота, оксида углерода, фенол, фтористый водород, бенз(а)пирен, взвешенные вещества (пыль), аммиак, достиг в 2013 г. величины 12,45 [1], что согласуется с выявленной тенденцией и поставило Днепропетровск на пятое место в списке городов Украины с наиболее загрязненной атмосферой.

Отметим, что формальдегид применяется в производстве смол, пластиков, красок, текстиля, а также в качестве дезинфицирующего и консервирующего средства. Это – раздражающий газ, который вызывает дегенеративные процессы в паренхиматозных органах, сенсibiliзирует кожу. Свободный формальдегид инактивирует ряд ферментов в органах и тканях, угнетает синтез нуклеиновых кислот, повышает обмен витамина С, имеет мутагенные свойства. Негативно воздействует на генетический материал, репродуктивные органы, дыхательные пути, глаза, кожный покров. Оказывает сильное действие на центральную нервную систему. Внесён в список канцерогенных веществ ГН 1.1.725-98 в разделе «вероятно канцерогенные для человека», с повышенным риском развития раковых опухолей носоглотки. При этом доказано его канцерогенность для животных. Предельно допустимая среднесуточная концентрация формальдегида в воздухе (ПДК с.с.), которая не оказывают вреда при неограниченном воздействии составляют 0,003 мг/м<sup>3</sup>.

Негативное влияние двуокиси азота (ПДК с.с. = 0,04 мг/м<sup>3</sup>) на окружающую среду и здоровье населения общеизвестны. Что касается пыли, то ее влияние не так однозначно. Так, для инертной пыли в атмосфере населенных пунктов установлено относительно невысокое значение ПДК с.с. = 0,15 мг/м<sup>3</sup>. Однако, опасность пыли заключается в том, что она может содержать тяжелые металлы с различной степенью агрессивности и воздействия на человека.

Поскольку концентрации загрязнителей меняются в течение года, проследим помесечную динамику приоритетных загрязнителей в 2013 г. (рис.1).

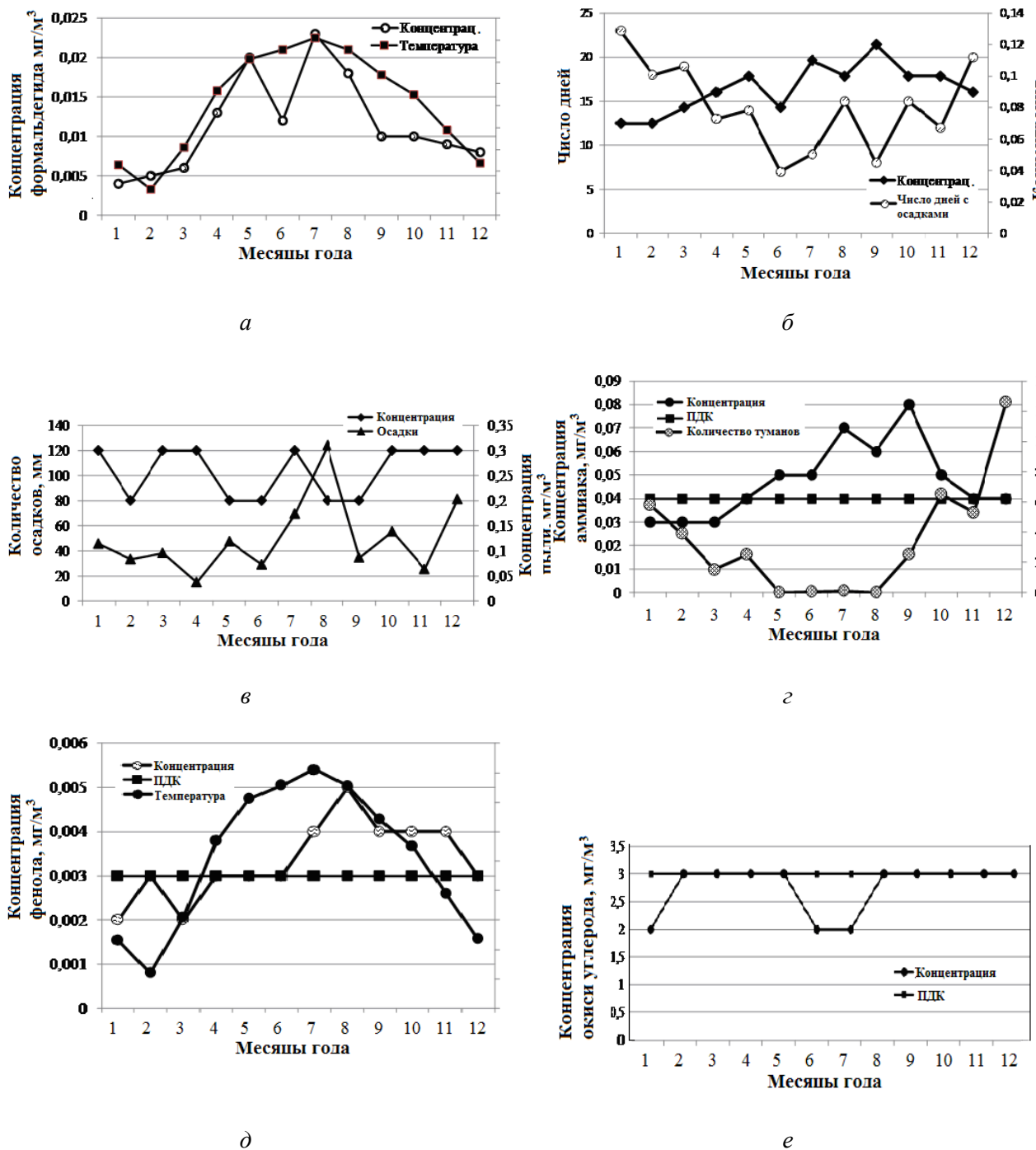


Рис.1. Помесечная динамика концентрации приоритетных загрязнителей в атмосфере г. Днепропетровска и влияющих на них метеорологических элементов (температура, осадки): а - е – соответственно формальдегида, двуокиси азота, пыли, аммиака, фенола и окиси углерода

Анализ представленных на рис.1 диаграмм показывает, что годовой ход средних концентраций имеет вариацию для разных примесей, что обусловлено особенностями их рассеивания в атмосфере при разных погодных условиях и неодинаковых степенях солнечной активности, а также от циклической деятельности человека. Наиболее неблагоприятными для рассеивания промышленных выбросов в атмосферу с метеорологической точки зрения были: декабрь – туман; май, сентябрь – слабый ветер; июнь – сухая погода.

Примечательно, что среднее содержание формальдегида (диаграмма а) на протяжении всего года превышало ПДК = 0,003 мг/м<sup>3</sup>. Причем среднее превышение составило 3,7 ПДК. Несмотря на выявленную за 5 предшествующих лет тенденцию возрастания содержания формальдегида в воздухе, наблюдаем снижение его концентрации и соответствующего ИЗА. Характерно, что увеличение средних концентраций формальдегида наблюдалось в теплые и засушливые периоды года. При этом выявилась довольно сильная корреляция между содержанием формальдегида в атмосфере города и температурой воздуха, что позволило по представленным на диаграмме экспериментальным значениям получить зависимость концентрации формальдегида от температуры воздуха в виде линии регрессии (рис. 3)

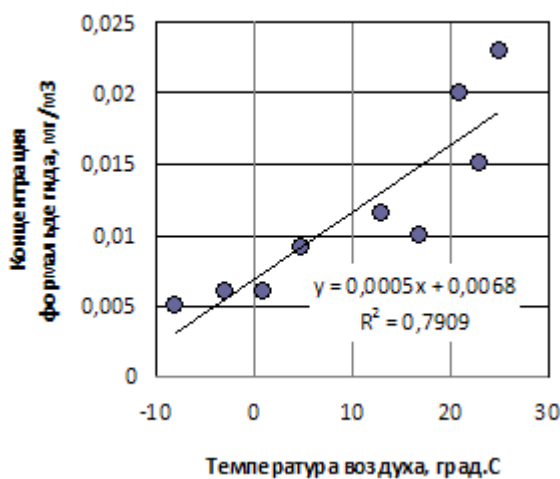


Рис.3. Зависимость концентрации формальдегида – у от температуры воздуха – х (сплошная линия на графике – это линия регрессии)

Полученное уравнение регрессии в виде линейного тренда  $y = 0,000x + 0,006$  характеризуется достаточно тесной связью между переменными ( $R^2 = 0,790$ ) и может быть использовано для прогноза ожидаемой концентрации формальдегида при определенной температуре воздуха. Иными словами, подставив в уравнение значение средней температуры воздуха, можно вычислить ожидаемую концентрацию формальдегида в условиях г. Днепропетровска даже без трудоемких измерений его концентрации.

Среднее содержание двуокиси азота (диаграмма б) значительно превышало безопасный уровень – ПДК = 0,04 мг/м<sup>3</sup>, а ИЗА составил 2,3. Возможно, это связано с метеорологическими условиями высокого загрязнения

и с сухой погодой на протяжении года. Удалось установить зависимость концентрации двуокиси азота от количества дней с осадками в виде линейного уравнения регрессии  $y = -0,002x + 0,1206$  (рис.4). Величина, характеризующая тесноту связи и достоверность ( $R^2 = 0,3958$ ) оказалась несколько меньшей, чем в предыдущем случае, из-за более высокой дисперсии экспериментальных данных. При этом коэффициент парной линейной корреляции оказался отрицательным, т.е. с увеличением числа дней с осадками концентрация двуокиси азота в атмосфере снижается. Это обусловлено тем, что двуокись азота хорошо растворяется в воде осадков, образуя азотную кислоту, и «вымывается» из атмосферы.

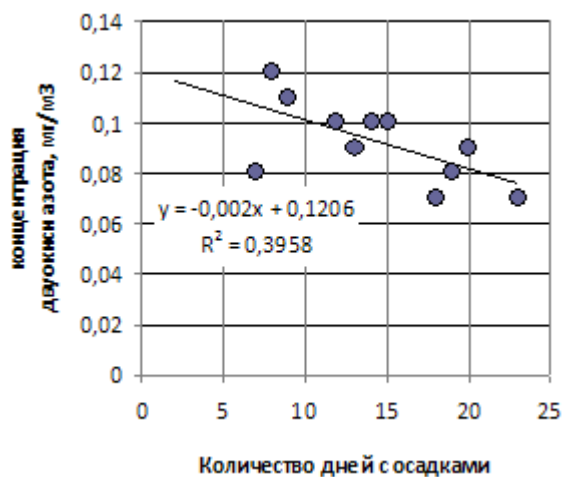


Рис.4. Зависимость концентрации двуокиси азота – y от количества дней с осадками – x (линейный тренд обозначен сплошной линией)

Полученное уравнение тоже можно использовать для прогноза содержания двуокиси азота в условиях Днепропетровска, в зависимости от количества дней с осадками.

Среднее содержание пыли в воздухе (диаграмма в) в каждом месяце превышало ПДК = 0,15 мг/м<sup>3</sup>, а среднегодовой ИЗА составил 2,0. Значительное увеличение средних концентраций пыли наблюдались в периоды с незначительным количеством осадков. Однако выявить достаточно достоверную зависимость между этими двумя показателями по представленной диаграмме не удалось из-за низкого значения  $R^2$ .

Среднемесячные концентрации аммиака (диаграмма з) в атмосферном воздухе города в первом квартале держалось ниже ПДК = 0,004 мг/м<sup>3</sup>, но превышали всю остальную часть года. В результате, ИЗА составил около 1,2. Превышение концентраций наблюдалось в преимущественно теплый период года, хотя достоверная корреляция между температурой воздуха или количеством туманов, в каплях которого растворяется аммиак с образованием аммиачной воды, не обнаруживается.



Среднемесячные концентрации фенола (диаграмма *d*) в атмосферном воздухе главным образом превышали ПДК = 0,003 мг/м<sup>3</sup>, а его ИЗА составил 1,3.

Среднее содержание окиси углерода (диаграмма *e*) в первом полугодии не превышало среднесуточную ПДК = 3 мг/м<sup>3</sup>, а во втором – постепенно приблизилось к ее значению. Зависимость содержания окиси углерода от метеорологических факторов тоже не выявлена.

Локальные значения содержания примесей в отдельных районах несколько отличались от средних значений по городу.

Принимая во внимание то, что мониторинг, помимо контроля и прогноза, предполагает и управление качеством воздуха, в рамках магистерского исследования ставилась задача выбора технического решения для уменьшения влияния выбросов в атмосферу города загрязненного воздуха на участках с большим потоком автотранспорта, выхлопы которого в определенной мере содержат проанализированные выше приоритетные загрязнители.

В качестве возможного технического решения нами предлагается использовать известные придорожные защитные экраны, рассмотренные в [2]. Такие экраны достаточно широко используются за рубежом, где их обычно изготавливают из прозрачного материала (углепластика) и устанавливают вдоль авто- и железнодорожных магистралей. При этом экраны выполняют двойную функцию – шумозащитную и ограничительную, ограничивая в определенной мере распространение вредных веществ и их приземные, на уровне человеческого роста, концентрации. Защитную эффективность экранов наглядно демонстрирует рис. 5, где представлены распределения концентрации СО вдоль автомагистрали в случае отсутствия экранов и при наличии экранов высотой  $h = 4$  м.

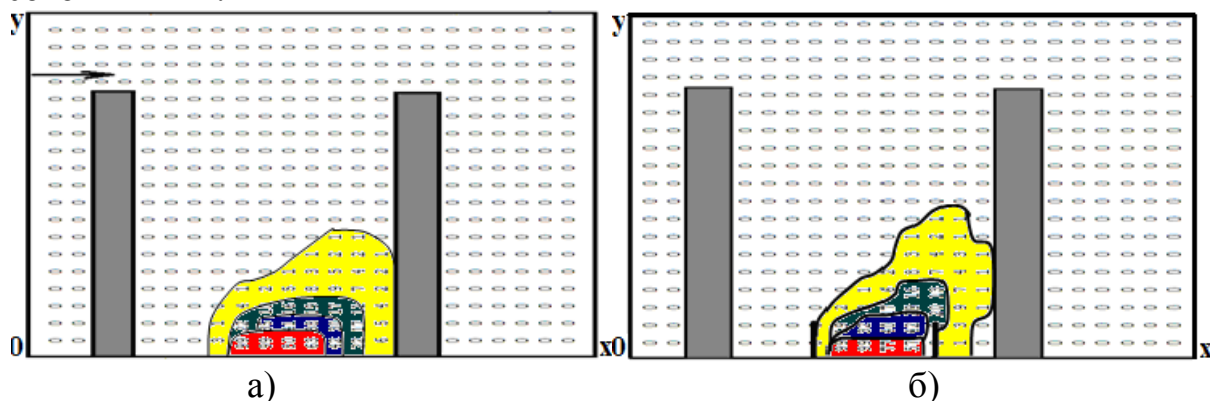


Рис. 5. Распределения четырех изолиний концентрации СО у автомагистрали в вертикальной плоскости; а) – в случае отсутствия экранов; б) – при наличии экранов высотой  $h=4$  м. [2] (Направление ветра указано стрелкой, а высотные здания изображены в виде прямоугольников)

Численный расчет рассеяния, результаты которого приведены на рис. 5, выполнялся для скорости ветра на уровне крыши зданий 4,1 м/с. Анализ результатов расчета показал, что экраны высотой 2-4 м позволяют уменьшить концентрацию загрязнителя на примагистральных участках на величину до 30 %.[2]. Практическим же примером реализации упомянутого экрана в

условиях Днепропетровска может служить забор вблизи массива, примыкающего к выезду из главного автодорожного моста города на левобережье (рис. 6).



Рис.6. Типовая схема размещения экрана высотой 2,5 м: а) – вид со стороны автострады на мосту; б) – вид со стороны жилого массива, соответственно

В данном случае забор-экран, выполнен из окрашенного «профнастила», но возможно использование рекламных щитов или прозрачного поликарбоната, что обойдется дороже, но будет выглядеть эстетичнее.

**Выводы.** Анализа концентраций приоритетных загрязнителей в городском воздухе показал, что наибольший индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) имеет формальдегид. Его доля в комплексном (суммарном) ИЗА города составила около 45%. Далее следует двуокись азота (вклад – 18-19 %) и пыль (взвеси), вклад которой составляет 15-17 %. Вклады аммиака и фенола достигают 19-22 %.

Из проанализированных загрязнителей атмосферы города лишь содержания формальдегида и двуокиси азота с достаточно высокой достоверностью зависят от таких метеорологических параметров, как температура воздуха и количество дней с осадками, соответственно. Полученные уравнения регрессии в виде прямых линий можно использовать для прогноза указанных примесей в атмосфере города по значениям указанных метеорологических элементов без трудоемкого анализа проб.

Для ограничения распространения вредных веществ и их приземных концентраций на участках с большим потоком автотранспорта, выхлопы которого в определенной мере содержат приоритетные загрязнители, предлагается использовать известные придорожные защитные экраны, которые позволяют уменьшить концентрации загрязнителей на примагистральных участках.

#### Список литературы

1. Центральна геофізична обсерваторія. (Електронний ресурс)/Режим доступу: URL: [http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u\\_zabrud&f=ukraine&p=1](http://www.cgo.kiev.ua/index.php?fn=u_zabrud&f=ukraine&p=1). – Огляд про стан забруднення навколишнього природного середовища на території України за даними спостережень гідрометеорологічних організацій у 2013 році.

2. Беляев Н.Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов [Текст]: моногр. / Н.Н. Беляев, Т.И. Русакова, П.С. Кириченко. –Д.: Акцент ПП, 2014.– 159 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.  
Надійшла до редакції 27.01.2015*

УДК 621.311

© Б.И. Кулик

## **УПРАВЛЕНИЕ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТЬЮ В ДЕЙСТВУЮЩИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ РЕЖИМА**

Рассмотрено управление реактивной мощностью в действующих электрических системах с учетом функциональных связей между параметрами режима. Показано влияние функционально-статистических связей между исходными параметрами режима системы на прогнозирование целевых режимов работы сети и эффективность их реализации в процедурах адаптационного управления реактивной мощности.

Розглянуто управління реактивної потужності в діючих електричних системах з врахуванням функціональних зв'язків між параметрами режиму. Виявлено вплив функціонально-статистичних зв'язків між початковими параметрами режиму системи на прогнозування цільових режимів роботи мережі і ефективність їх реалізації у процедурах адаптаційного управління реактивної потужності.

Reactive power control in existing electrical power systems with the functional connections between the mode parameters is considered. The influence of functional and statistical connections between initial parameters of system mode on prediction of target power grid mode and the efficiency of their implementation in the procedures of reactive power adaptive control are shown.

Передача реактивной энергии в действующих электрических системах (ДЭС) сопровождается дополнительным нагревом токоведущих частей сетевых электроустановок, а значит, и дополнительными потерями активной энергии и напряжения. Эффективным способом снижения потерь активной энергии и повышения качества потребляемой электроэнергии в ДЭС является компенсация реактивной мощности [1]. Если проектные задачи расчета и распределения средства искусственной компенсации реактивной мощности (СИКРМ) в сетях потребителя сравнительно глубоко теоретически проработаны [2], то эксплуатационные вопросы оперативного управления СИКРМ остаются нерешенными, т. к. тесно связаны с рядом задач адаптационного (гибкого) управления: непрерывностью притока новой информации об энергетических состояниях действующей сети, наличием неопределенностей и трудно формализуемых факторов управления (что нередко приводит к необходимости изменения критериев управления в соответствии с реальной тенденцией энергетического состояния ДЭС). К тому же существующие принципы, лежащие в основе оперативного управления СИКРМ, характеризуются высокой инерционностью, что приводит к

перекомпенсации или недокомпенсации реактивной мощности, а значит и росту технико-экономических издержек на эксплуатацию сети.

Актуальность проблемы качества решения задач управления СИКРМ в ДЭС подтверждается тем, что существующие принципы управления СИКРМ позволили глубже осознать возможности компенсации РМ и установить, что убытки от незнания особенностей проблемы значительно превышают затраты и усилия на приобретение знаний и организацию рационального управления СГРЭ (нередко только за счет методических приемов).

**Изложение основного материала.** Параметры нормального установившегося режима работы ДЭС имеют функциональные связи, однако, из-за стохастического характера изменения величин параметров режима эти связи неоднозначны [3, 4]. При управлении нагрузкой по реактивной мощности  $Q$ , как случайным процессом, необходимо учитывать эти связи. Для выявления функциональных связей между параметрами режима применим корреляционный и регрессионный анализ.

В качестве оценки парной коррелированности случайных величин принята точечная оценка выборочного коэффициента корреляции  $K_r$ . В качестве модели вычисления оценки  $K_r$  выбрано выражение вида:

$$K_r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

где  $x_i$  – значения случайных величин, принимаемые в выборке  $X$ ;  $y_i$  – значения случайных величин, принимаемые в выборке  $Y$ ;  $\bar{x}$  – математическое ожидание случайной величины выборки  $X$ ;  $\bar{y}$  – математическое ожидание случайной величины выборки  $Y$ .

Имея оценки статистических связей параметров режима можно построить значимые модельные уравнения регрессии одних параметров режима ДЭС на другие. Известно, что наиболее простым видом регрессии есть линейная зависимость:  $y(x)=a+bx$ . Применительно к задачам компенсации реактивной мощности зависимыми от величины реактивной мощности, протекающей по сети, переменными, являются нагрузка по активной мощности, потери активной и реактивной мощности, напряжение. Независимой переменной в регрессии будет выступать реактивная мощность, а при оценке взаимосвязи между напряжением и активной мощностью – активная мощность.

Исходная информация для исследований параметров нормального установившегося режима взята на предприятии «Черниговское Химволокно». В частности это получасовые нагрузки по активной и реактивной мощностям и соответствующие им напряжения фидеров 21 и 32 (с их параметрами), которые являются вводными для распределительной подстанции РП-2 предприятия, по

состоянию на месяц март 2007 года. Расчетным путем были получены потери активной и реактивной мощностей в фидерах 21 и 32.

В результате статистической и математической обработки исходных и зависимых параметров нормального установившегося режима работы, были сформированы функции регрессии одних параметров режима ДЭС на другие. Для демонстрации полученных результатов исследования для фидера 32 выборочно взят интервал астрономического времени с 6:00 до 9:00.

В графе 2 таблицы 1 представлены коэффициенты корреляции при уровне значимости  $\alpha = 0,95$  (для гипотезы: коэффициент корреляции равен нулю) между нагрузками по активной  $P$  и реактивной  $Q$  мощностях для шести получасовых интервалов времени совокупной продолжительностью 31 день ( $K_r^{0,5ч}$ ).

Для этих же интервалов времени были получены функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на нагрузку по активной мощности  $P(Q)^{0,5ч}$ , которые представлены в графе 3 таблицы 1.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции и функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на нагрузку по активной мощности при интервалах осреднения 0,5 часа, 1,5 часа, 3 часа

Интервал времени	$K_r^{0,5ч}$	$P(Q)^{0,5ч}$	$K_r^{1,5ч}$	$P(Q)^{1,5ч}$	$K_r^{3ч}$	$P(Q)^{3ч}$
6:00-6:30	0.81	2421+1.41Q	0.85	2420+1.36Q	0.86	2347+1,45Q
6:30-7:00	0.85	2564+1.21Q				
7:00-7:30	0.85	2336+1.38Q				
7:30-8:00	0.86	2308+1.44Q	0.84	2342+1.46Q		
8:00-8:30	0.85	2350+1.44Q				
8:30-9:00	0.86	2148+1.71Q				

Оценка параметров режима должна учитывать конструктивно-эксплуатационные особенности конкретного элемента сети. В настоящее время принято, что для большинства элементов сети установившийся режим нагрева длится 30 минут. Но результаты исследований, изложенные в [5] показывают, что установившийся режим нагрева длится больше 30 минут. С учетом этого было исследовано влияние интервала осреднения на тесноту связи между параметрами режима работы ДЭС. Коэффициенты корреляции  $K_r^{1,5ч}$ ,  $K_r^{3ч}$  и функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на нагрузку по активной мощности при интервалах осреднения 1,5 часа  $P(Q)^{1,5ч}$  (с 6:00 до 7:30 и с 7:30 до 9:00) и 3 часа  $P(Q)^{3ч}$  (с 6:00 до 9:00) представлены в графах 4-7 таблицы 1.

Коэффициенты корреляции и функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на потери активной мощности  $\Delta P(Q)$ , на потери реактивной

мощности  $\Delta Q$  ( $Q$ ) на интервалах осреднения 0,5 часа, 1,5 часа и 3 часа приведены в таблицах 2 и 3 соответственно.

Большие значения  $K_r$  между нагрузками по активной и реактивной мощностям, между нагрузкой по реактивной мощности и потерями активной и реактивной мощностей при всех интервалах осреднения свидетельствуют о наличии прямых тесных связей между этими параметрами. Увеличение интервала осреднения с получасового на трехчасовой не изменяет тесноты связи. Также увеличение интервала осреднения параметров режима существенно не изменяет коэффициенты регрессии, что дает возможность управлять СИКРМ на этих интервалах времени не меняя их состояния. Такой подход к управлению СИКРМ позволяет увеличить срок их службы.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции и функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на потери активной мощности при интервалах осреднения 0,5 часа, 1,5 часа, 3 часа

Интервал времени	$K_r^{0,5ч}$	$\Delta P (Q)^{0,5ч}$	$K_r^{1,5ч}$	$\Delta P (Q)^{1,5ч}$	$K_r^{3ч}$	$\Delta P (Q)^{3ч}$
1	2	3	4	5	6	7
6:00-6:30	0,84	$4,89+9 \cdot 10^{-3}Q$	0,88	$4,34+9 \cdot 10^{-3}Q$	0,89	$3,59+1 \cdot 10^{-2}Q$
6:30-7:00	0,88	$4,84+9 \cdot 10^{-3}Q$				
7:00-7:30	0,89	$3,62+1 \cdot 10^{-2}Q$				
7:30-8:00	0,90	$3,19+1 \cdot 10^{-2}Q$	0,87	$3,19+1,1 \cdot 10^{-2}Q$		
8:00-8:30	0,89	$3,20+1,1 \cdot 10^{-2}Q$				
8:30-9:00	0,88	$1,11+1,3 \cdot 10^{-2}Q$				

Таблица 3

Коэффициенты корреляции и функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на потери реактивной мощности при интервалах осреднения 0,5 часа, 1,5 часа, 3 часа

Интервал времени	$K_r^{0,5ч}$	$\Delta Q (Q)^{0,5ч}$	$K_r^{1,5ч}$	$\Delta Q (Q)^{1,5ч}$	$K_r^{3ч}$	$\Delta Q (Q)^{3ч}$
6:00-6:30	0,84	$2,29+4 \cdot 10^{-3}Q$	0,88	$2,04+5 \cdot 10^{-3}Q$	0,89	$1,68+5 \cdot 10^{-3}Q$
6:30-7:00	0,88	$2,27+4 \cdot 10^{-3}Q$				
7:00-7:30	0,89	$1,70+5 \cdot 10^{-3}Q$				
7:30-8:00	0,90	$1,50+5 \cdot 10^{-3}Q$	0,87	$1,50+5 \cdot 10^{-3}Q$		
8:00-8:30	0,89	$1,50+5 \cdot 10^{-3}Q$				
8:30-9:00	0,88	$0,52+6 \cdot 10^{-3}Q$				

Коэффициенты корреляции и функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на напряжение приведены в таблице 4. Коэффициенты корреляции и функции регрессии нагрузки по активной мощности на напряжение приведены в таблице 5.

Положительные значения  $K_r$  между нагрузкой по активной и реактивной мощностям и напряжением на интервале времени 6:00-8:00 показывают увеличение напряжения при увеличении нагрузок. Но малость величины коэффициентов корреляции говорит о том, что связь между исследуемыми параметрами не тесная и нагрузки потребителя на изменение напряжения в исследуемом узле влияют мало. Изменение знака  $K_r$  нагрузки по реактивной мощности и напряжения с положительного на отрицательный (при получасовом осреднении нагрузки на интервале времени с 8:00 до 9:00), подтверждает не монотонность этих параметров режима во времени.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции и функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на напряжение при интервалах осреднения 0,5 часа, 1,5 часа, 3 часа

Интервал времени	$K_r^{0,5ч}$	$U(Q)^{0,5ч}$	$K_r^{1,5ч}$	$U(Q)^{1,5ч}$	$K_r^{3ч}$	$U(Q)^{3ч}$
6:00-6:30	0,19	$10,54+14 \cdot 10^{-5}Q$	0,09	$10,55+5 \cdot 10^{-5}Q$	0,09	$10,54+5 \cdot 10^{-5}Q$
6:30-7:00	0,08	$10,58+5 \cdot 10^{-5}Q$				
7:00-7:30	0,20	$10,52+10 \cdot 10^{-5}Q$				
7:30-8:00	0,05	$10,57+3 \cdot 10^{-5}Q$	0,10	$10,54+5 \cdot 10^{-5}Q$		
8:00-8:30	-0,01	$10,60-1 \cdot 10^{-5}Q$				
8:30-9:00	-0,07	$10,63-3 \cdot 10^{-5}Q$				

Таблица 5

Коэффициенты корреляции и функции регрессии нагрузки по активной мощности на напряжение при интервалах осреднения 0,5 часа, 1,5 часа, 3 часа

Интервал времени	$K_r^{0,5ч}$	$U(P)^{0,5ч}$	$K_r^{1,5ч}$	$U(P)^{1,5ч}$	$K_r^{3ч}$	$U(P)^{3ч}$
6:00-6:30	0,14	$10,43+6 \cdot 10^{-5}P$	0,04	$10,54+2 \cdot 10^{-5}P$	0,03	$10,55+1 \cdot 10^{-5}P$
6:30-7:00	0,09	$10,49+4 \cdot 10^{-5}P$				
7:00-7:30	0,15	$10,43+5 \cdot 10^{-5}P$				
7:30-8:00	0,02	$10,57+1 \cdot 10^{-5}P$	0,05	$10,53+2 \cdot 10^{-5}P$		
8:00-8:30	-0,08	$10,68-2 \cdot 10^{-5}P$				
8:30-9:00	-0,09	$10,67-2 \cdot 10^{-5}P$				

Увеличение интервала осреднения с получасового на полуторачасовой не изменяет тесноты связи, но меняет функциональную связь между параметрами режима. Что не позволяет управлять СИКРМ на интервале времени больше получасового.

Малые значения коэффициентов регрессии функций регрессии  $U(Q)$  подтверждают, что практически нет возможности влиять изменением реактивной мощности СИКРМ на напряжение в данном узле. Функции регрессии показывают, что управляя СИКРМ в данном узле на исследуемом интервале времени можно достичь целей: снижения потерь активной и реактивной мощности.

Анализируя значения коэффициентов регрессии  $\Delta Q(Q)$ ,  $\Delta P(Q)$  видно, что влияние нагрузки по реактивной мощности больше на потери активной мощности. При изменении интервала осреднения они практически остаются неизменными.

Для данного объекта можно сделать вывод, что при поиске интервала, на котором связь между параметрами режима ДЭС будет наибольшей нельзя использовать нагрузки данного объекта с интервалом осреднения 1,5 часа и 3 часа на временном интервале за весь месяц. Поставлена задача поиска временного интервала, на котором можно сформировать целенаправленные управляющие воздействия на СИКРМ.

**Вывод.** Знание функционально-статистических связей между исходными параметрами режима действующей электрической системы позволяют более качественно прогнозировать целевые режимы работы сети и эффективно их реализовать в процедурах адаптационного управления реактивной мощностью.

Для каждой ДЭС при управлении ее реактивной мощностью необходимо учитывать функциональные связи между параметрами режима. Функции регрессии нагрузки по реактивной мощности на параметры нормального установившегося режима работы ДЭС позволяют разработать процедуры управления режимом ДЭС как при изменении нагрузки, так и при внесении регулирующих воздействий СИКРМ. Составленные функции регрессии могут быть заложены в основу алгоритма управления СИКРМ.

#### Список литературы

1. Железко Ю.С. Потери электроэнергии. Реактивная мощность. Качество электроэнергии. Руководство для практических расчетов. М.: ЭНАС, 2009.-456 с.
2. Рогальский Б.С. Способы и технические средства управления компенсирующими установками в электрических сетях промышленных предприятий [Текст] / Б. С. Рогальский, А. В. Дмитраш, В. М. Непийвода // Контроль и управление в энергетике. – Киев : УМК ВО. – 1988. – С. 114–117.
3. Особенности режима работы действующих электрических сетей с учетом реактивной составляющей мощности / Скоробогатова В.И., Кулик Б.И. // Вісник ЧДТУ. – 2013. – № 4. – С. 163-167.
4. Підвищення функціональної ефективності управління потоками реактивної енергії в діючих електричних мережах / Скоробогатова В.І., Кулик Б.І. // Вісник ЧДТУ. – 2007. – № 30. – С. 118-121.
5. Скоробогатова В. И. Оценивание энергетического состояния действующих промышленных электрических сетей. – К.: Об-во "Знание" Украины, Укр.дом экон. и науч.-техн. знаний.–1996. – 54 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширінім Л.Н.  
Надійшла до редакції 27.01.15*



## СОСТОЯНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ВОКРУГ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШАХТЫ РАСПОЛОЖЕННОЙ В ЧЕРТЕ ГОРОДА

Выполнен расчет рассеивания экологически опасных веществ в атмосфере от вентиляционного ствола железорудной шахты расположенной в черте города. Приведены изолинии приземных концентраций суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг источника загрязнения. Установлена эмпирическая формула, позволяющая определить приземную концентрацию суммарного воздействия экологически опасных веществ.

Виконано розрахунок розсіювання екологічно небезпечних речовин в атмосфері від вентиляційного ствола залізорудної шахти розташованої в межах міста. Наведено ізолінії приземних концентрацій сумарного впливу екологічно небезпечних речовин навколо джерела забруднення. Встановлено емпірична формула, що дозволяє визначити приземну концентрацію сумарного впливу екологічно небезпечних речовин.

Calculation of ecologically harmful substances diffusion into the atmosphere from ventilation shaft of iron-ore mine that situated within city is executed. Isolines of near the ground concentrations of total impact of ecologically harmful substances around contamination are given. Empiric formula that allows to determine near-the-ground concentration of total impact of ecologically harmful substances is established.

**Введение.** Горная промышленность Украины имеет мощный горнодобывающий потенциал и занимает одно из ведущих мест среди стран европейского союза по добыче железных руд. Украина входит в число ведущих минерально-сырьевых государств мира, которая занимает всего 0,4 % земной суши и имеет в своих недрах 5% минерально-сырьевого потенциала. В Украине разведано 49 месторождений железных руд, общие запасы которых представляют свыше 28 млрд. т, что складывает близко 8 – 9% от мировых.

Наиболее значимыми месторождениями железной руды в Украине являются: Криворожский железорудный бассейн, Кременчугский железорудный район, Белозерский железорудный район, Конкский район магнитных аномалий, Приднепровский железорудный район, Приазовский железорудный район, Одесско-Белоцерковский железорудный район и Керченский железорудный бассейн. Из перечисленных месторождений железных руд в настоящее время открытым и подземным способами разрабатываются Криворожско-Кременчугская железорудная зона (бассейн) и подземным способом Белозерский железорудный район.

С целью снижения негативного влияния на окружающую среду во время проведения взрывных работ все карьеры переведены на эмульсионные взрывчатые вещества (ВВ). Как известно, при взрывании одного килограмма эмульсионного ВВ в воздух выбрасывается всего двадцать литров газа, что почти в четырнадцать раз меньше, чем при использовании тротилосодержащих ВВ. На подземных горных работах в железорудных шахтах использование бестротилового ВВ составляет около 3%, что связано с разработкой технологии ведения подземных горных работ и зарядных машин для использования эмульсионных ВВ. Поэтому на сегодняшний день на железорудных шахтах Украины до сих пор в качестве основных ВВ используются тротилосодержащие ВВ. Во время взрывания 1 кг тротила в воздух выделяется

275 литров токсических газов [1]. После проведения взрывных работ, связанных с подземными горными работами, отработанный воздух из шахт выбрасывается в атмосферу через вентиляционные стволы без очистки. Это связано с тем, что на сегодняшний день не существует эффективного оборудования и очистительных сооружений для улавливания и очистки газов, которые выдаются на поверхность в значительных объемах. В зависимости от расположения шахт и их вентиляционных стволов, исходящая струя воздуха негативно воздействует на объекты окружающей среды, здоровье населения и биоту, произрастающую на прилегающей к предприятию территории [2, 3].

Ухудшение состояния качества природной среды в районах размещения горнодобывающих предприятий вызывает необходимость поиска путей и методов преодоления отрицательных последствий вмешательства человека в функционирование природных систем. Поэтому для повышения уровня экологической безопасности процессов подземной добычи железных руд необходимо установить закономерности рассеивания в окружающей среде выбросов железорудных шахт.

**Целью работы** является изучение состояния атмосферного воздуха в районах размещения предприятий по подземной добыче железных руд расположенных в черте города. Поэтому промышленная площадка шахты «Новая» Общества с ограниченной ответственностью «Восток-Руда» (ООО «Восток-Руда») и прилегающая к ней территория представляет собой актуальный полигон для проведения исследований состояния атмосферного воздуха.

**Изложение основного материала исследований.** Желтореченское месторождение железных руд, на базе которого работает шахта «Новая» ООО «Восток-Руда», расположено в северной части Криворожского железорудного бассейна в районе города Желтые Воды Днепропетровской области [4]. Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются: дробильно-сортировочная фабрика, складочный, автотранспортный, железнодорожный цеха, котельная и шахта. В 2000 году совместно с предприятием «Экоуниверсал» была проведена инвентаризация всех источников выбросов, выполнение которых позволило снизить выбросы в атмосферу на 1165 т/год. На дробильно-сортировочной фабрике было установлено ПОУ мокрой очистки, на складочном комплексе для улавливания цементной пыли установлены рукавные фильтры, котельная переведена с мазуты на газ. Поэтому значительное количество экологически опасных веществ несет отработанная струя воздуха из вентиляционного ствола шахты.

При добыче железной руды на шахте «Новая» ООО «Восток-Руда» отработанная струя воздуха из шахты выбрасывается в атмосферу через вентиляционный ствол «Северная-Дренажная». Отсутствие эффективного оборудования и очистных сооружений для улавливания экологически опасных веществ из отработанной струи рудничного воздуха, который выдается на поверхность в больших объемах и со значительной скоростью, приводит к тому, что вредные вещества могут беспрепятственно поступать в окружающую среду и вызывать ухудшение её качества.

Для определения особенностей рассеивания экологически опасных веществ в атмосфере от вентиляционного ствола использовали автоматизированную систему расчета загрязнения атмосферы «ЭОЛ 2000 [h]». В основу программного обеспечения положены нормы, которые устанавливает методика расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе «ОНД-86» [5]. В расчетах принимались следующие исходные данные: коэффициент стратификации атмосферы  $A = 200$ , коэффициент рельефа местности  $\eta = 1$ , средняя максимальная температура воздуха наиболее жаркого месяца года равная  $26,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , средняя температура воздуха наиболее холодного месяца года равная  $-5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , среднегодовая скорость ветра равная  $10,5\text{ м/с}$ . Расчетный полигон представляет собой квадрат с размером стороны  $8000\text{ м}$ , в центре которого размещается источник выброса. В расчетном квадрате топографическими знаками обозначены все попавшие в него объекты. Источник выброса: вентиляционный ствол «Северная-Дренажная» – высота  $5\text{ м}$ , диаметр выходного отверстия  $4,7\text{ м}$ , расход воздуха  $131,16\text{ м}^3/\text{с}$  и температура воздуха равная  $26,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Вредные вещества: окись углерода – ПДК массовая разовая равная  $5\text{ мг/м}^3$ , класс опасности 4, коэффициент оседания 1, коэффициент потенцирования равный  $0,9$ ; оксиды азота – ПДК массовая разовая равная  $0,085\text{ мг/м}^3$ , класс опасности 2, коэффициент оседания 1, коэффициент потенцирования равный  $1,3$ .

По результатам расчетов были построены изолинии, характеризующие приземную концентрацию суммарного воздействия вредных веществ от вентиляционного ствола, за 2009 – 2013 гг. (рис. 1, а-д).

Анализ данных представленных на рис. 1, а, позволил установить, что основные изолинии приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг вентиляционного ствола шахты в радиусе  $355\text{ м}$  равно  $0,12$  долей единиц (д.е.) от ПДК вещества и уменьшаются до  $0,02$  на расстоянии  $2450\text{ м}$  от источника выброса. Уменьшение приземной концентрации в среднем происходит через каждые  $200 - 750\text{ м}$  на  $0,01 - 0,04$  д.е. ПДК.

Основные изолинии приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг вентиляционного ствола шахты в радиусе  $355\text{ м}$  равно  $0,14$  д.е. от ПДК вещества и уменьшаются до  $0,02$  на расстоянии  $2450\text{ м}$  от источника выброса (рис. 1, б). Уменьшение приземной концентрации в среднем происходит с  $200\text{ м}$  до  $750\text{ м}$  на  $0,01 - 0,04$  д.е. ПДК.

Изолинии приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг вентиляционного ствола шахты в радиусе  $355\text{ м}$  равно  $0,16$  д.е. ПДК вещества и уменьшаются до  $0,02$  на расстоянии  $2450\text{ м}$  от источника выброса (рис. 1, в и г). Уменьшение приземной концентрации в среднем происходит через каждые  $200 - 750\text{ м}$  на  $0,01 - 0,05$  д.е. ПДК.

Основные изолинии приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг вентиляционного ствола шахты в радиусе  $355\text{ м}$  равно  $0,32$  д.е. от ПДК вещества и уменьшаются до  $0,04$  на расстоянии  $2450\text{ м}$  от источника выброса (рис. 1, б). Уменьшение приземной концентрации в среднем происходит с  $200\text{ м}$  до  $750\text{ м}$  на  $0,03 - 0,1$  д.е. ПДК.

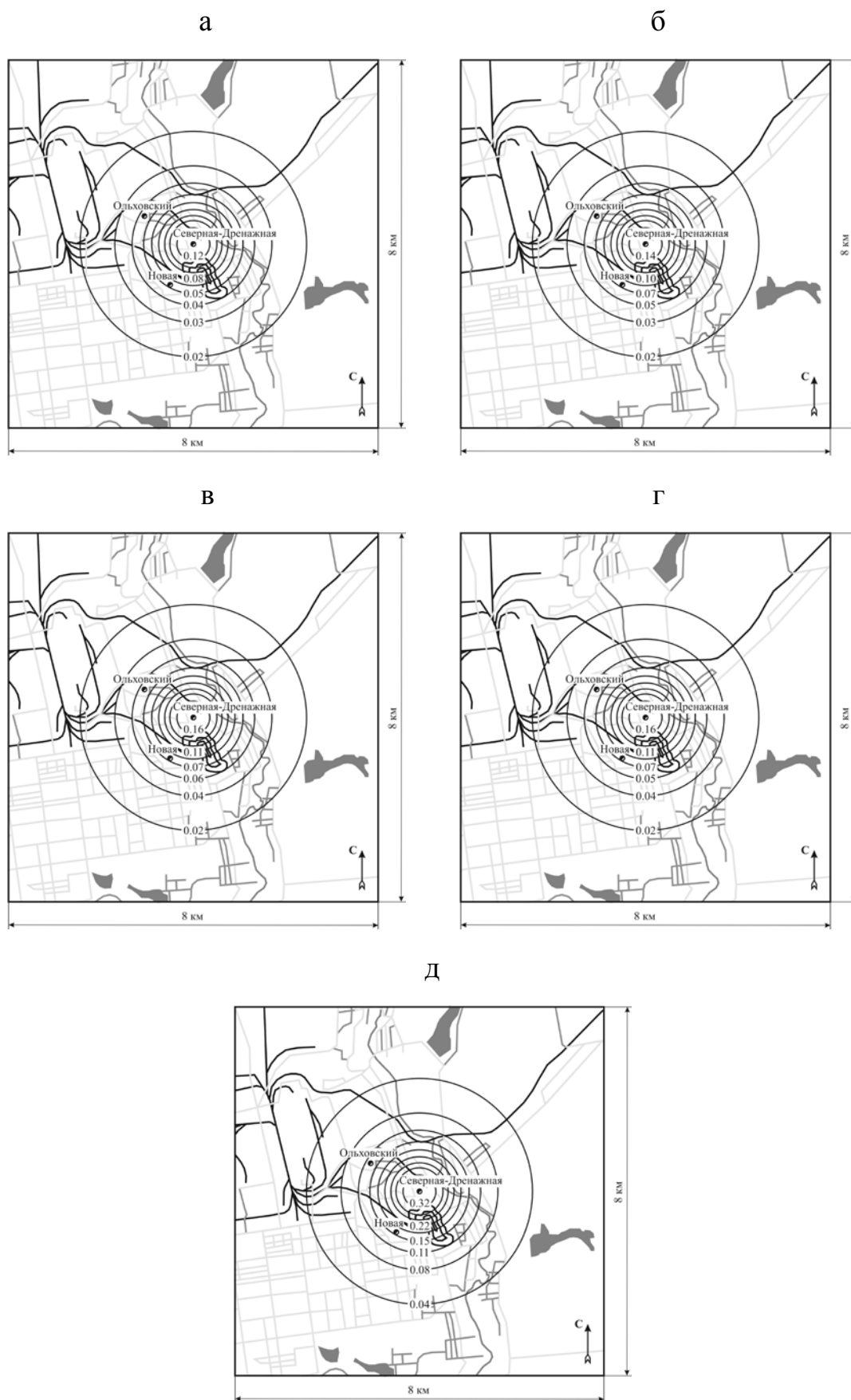


Рис. 1. Изолинии приземных концентраций суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг вентиляционного ствола шахты в 2009 (а), 2010 (б), 2011 (в) 2012 (г) и 2013 (д) гг.

Общую картину изменения величины приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ с увеличением расстояния от источника выброса можно наблюдать по изменению их концентрации в д.е. ПДК (рис. 2).

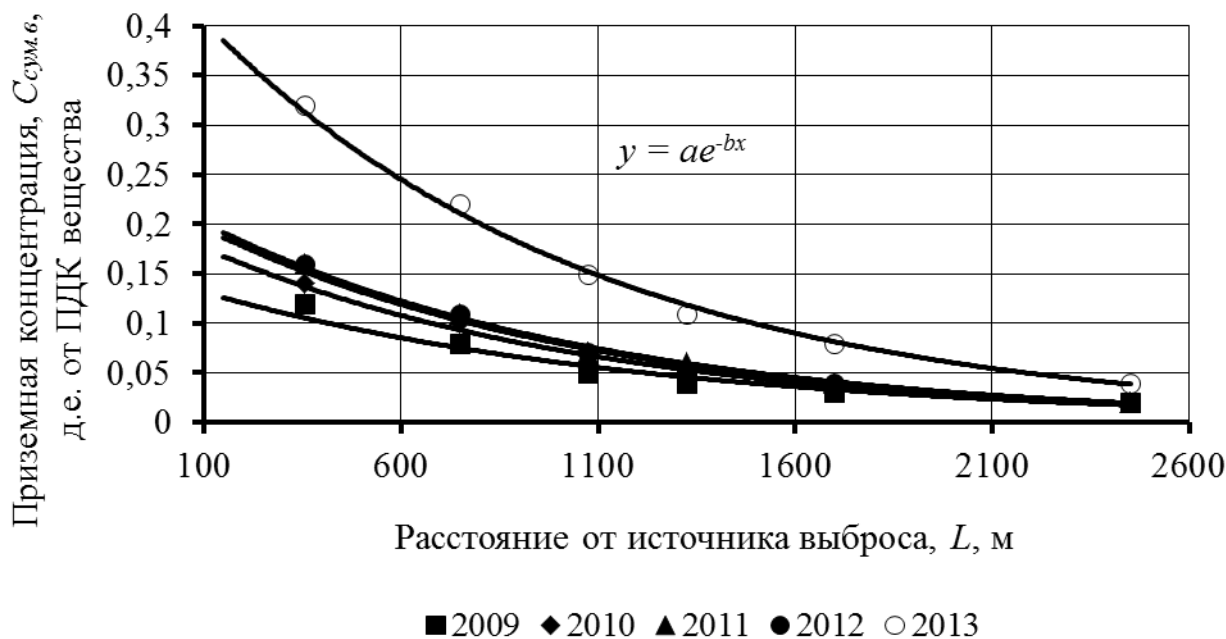


Рис. 2. Изолинии приземных концентраций суммарного воздействия экологически опасных веществ вокруг вентиляционного ствола

В результате проведения аппроксимации максимальных значений, получены эмпирические уравнения зависимостей д.е. ПДК вещества суммарного воздействия от расстояния до источника выброса.

Величина приземной концентрации суммарного воздействия:

– в 2009 году

$$C_{\text{сум.в}} = 0,15 \cdot e^{-0,001 \cdot L}, \text{ д.е. от ПДК, при } R^2 = 0,9602, \quad (1)$$

где  $L$  – расстояние от источника выброса, м.

– в 2010 году

$$C_{\text{сум.в}} = 0,19 \cdot e^{-0,001 \cdot L}, \text{ д.е. от ПДК, при } R^2 = 0,9751; \quad (2)$$

– в 2011 году

$$C_{\text{сум.в}} = 0,22 \cdot e^{-0,001 \cdot L}, \text{ д.е. от ПДК, при } R^2 = 0,9958; \quad (3)$$

– в 2012 году

$$C_{\text{сум.в}} = 0,25 \cdot e^{-0,001 \cdot L}, \text{ д.е. от ПДК, при } R^2 = 0,9871; \quad (4)$$

– в 2013 году

$$C_{\text{сум.в}} = 0,45 \cdot e^{-0,001 \cdot L}, \text{ д.е. от ПДК, при } R^2 = 0,9964. \quad (5)$$

Выполненный анализ значений приземных концентраций суммарного воздействия экологически опасных веществ, позволил установить, что с увеличением расстояния до 2450 м от источника выброса значения концентраций уменьшается в 6 – 8 раз. Основным фактором, влияющим на значение

концентраций экологически опасных веществ, является среднегодовой удельный расход ВВ.

Таким образом, приземная концентрация суммарного воздействия  $C_{\text{сум.в}}$  с увеличением расстояния от источника выброса изменяется по экспоненциальной зависимости которая имеет вид:

$$C_{\text{сум.в}} = a \cdot e^{-b \cdot L}, \quad (6)$$

где  $a$  и  $b$  – данные числа, содержащие известные величины.

Каждое из этих данных значений изменяется от удельного расхода ВВ  $q$  по следующим закономерностям:

$$a = 3 \cdot q^{3.4}; \quad (7)$$

$$b = 0,001. \quad (8)$$

Подставив уравнения (1) – (5) в выражение (6) и выполнив необходимые преобразования, получим эмпирическую формулу, определяющую приземную концентрацию суммарного воздействия экологически опасных веществ с учетом удельного расхода ВВ и расстояния от источника выброса которая имеет вид:

$$C_{\text{сум.в}} = 3 \cdot q^{3.4} \cdot e^{-0,001 \cdot L}, \text{ д.е. от ПДК}. \quad (9)$$

**Выводы.** Определение значений приземной концентрации суммарного воздействия экологически опасных веществ позволило установить, что на приземную концентрацию вредных веществ влияет удельный расход ВВ и расстояние от источника выброса. Дальнейшие исследования позволили установить, что приземная концентрация суммарного воздействия экологически опасных веществ с увеличением расстояния от вентиляционного ствола «Северная-Дренажная» шахты «Новая» ООО «Восток-Руда» и удельного расхода ВВ изменяется по экспоненциальной зависимости.

Таким образом, установленные закономерности подтверждают необходимость разработки и внедрения комплекса мероприятий направленных на снижение концентрации загрязняющих веществ в рудничном воздухе железорудных шахт.

#### Список литературы

1. Поздняков З. Г. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрывания / З. Г. Поздняков, Б. Д. Росси. – [2-е изд.]. – М.: Недра, 1977. – 253 с.
2. Сааркоппель Л.М. Сравнительная оценка состояния здоровья рабочих горнорудной промышленности / Л.М. Сааркоппель // Медицина труда и промышленная экология, №12, 2007. — 17-22.
3. Джувеликян Х.А. Роль железорудной промышленности в загрязнении окружающей среды тяжелыми металлами / Х.А. Джувеликян // Экология и промышленность России. 2002. – С. 26-29.
4. Горнорудное дело Украины в сети Интернет: справочник / О. Е. Хоменко, М. Н. Кононенко, А. Б. Владыко, Д. В. Мальцев. – Д.: Национальный горный университет, 2011. – 288 с.
5. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. «ОНД-86». - Ленинград.: Гидрометеиздат, 1987.– 76с.

*Рекомендовано к публикации д.б.н. Горовой А.И.  
Поступила в редакцию 15.01.15*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМБИНИРОВАННЫХ ИТЕРАЦИОННО-НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ

В статье предложен комбинированный интеллектуальный метод идентификации математических моделей ХТП, позволяющий минимизировать время поиска настроечных коэффициентов за счет использования нейронной сети для снижения количества шагов поисковых итерационных алгоритмов на различных этапах идентификации.

У статті запропоновано комбінований інтелектуальний метод ідентифікації математичних моделей ХТП, що дозволяє мінімізувати час пошуку настроювальних коефіцієнтів за рахунок використання нейронної мережі для зниження кількості кроків пошукових ітераційних алгоритмів на різних етапах ідентифікації.

There suggested combined intellectual method of identification of complex mathematical models of chemical technology processes, which allows to minimize search time for adjusting coefficients using neural network for reduction of number of steps of searching iterative algorithms at different stages of identification.

**Введение, постановка задачи.** Непрерывное совершенствование компьютерной техники и рост вычислительной мощности микропроцессорных управляющих устройств позволяет в современных системах управления ХТП использовать сложные математические модели, как наиболее точно описывающие моделируемый процесс и специфику его протекания. При этом одной из проблем, затрудняющих продвижение в данном направлении, остается обеспечение адекватности математической модели объекта управления на протяжении достаточно длительного промежутка времени [1].

Математические модели, используемые в системах управления ХТП, можно разделить на две группы [2]. Первая - аналитические модели, основанные на теоретическом анализе физических и химических процессов, протекающих в исследуемом объекте, а также учете конструкций аппаратов и характеристик перерабатываемых веществ. Вторая - эмпирические модели, рассматривающие ХТП в виде «черного ящика» и построенные на основе анализа входной и выходной информации конкретных объектов управления.

Модели первой группы из-за своей сложности требуют значительных временных затрат на этапе идентификации. Уточнение всех настроечных коэффициентов модели занимает длительное время, ведь в процессе поиска с использованием классических итерационных методов при поиске каждого коэффициента приходится многократно, на каждом шаге поискового алгоритма просчитывать математическую модель процесса, что бы выяснить достигнуто ли искомое значение (рис. 1). В итоге время, затрачиваемое на процедуру идентификации, с трудом поддается прогнозированию, что не позволяет эффективно использовать подобные модели в современных АСУ, реализующих режимы реального и квазиреального времени на различных уровнях системы и предъявляющих высокие требования к оперативности и качеству управления.

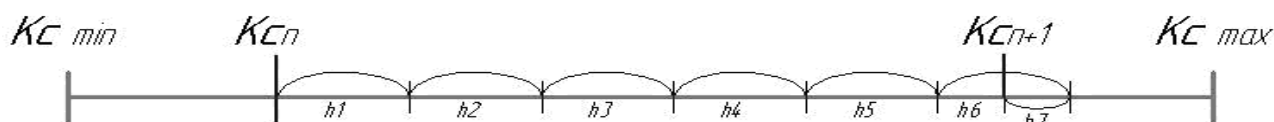


Рис. 1. Идентификация ММ методом последовательных приближений, с изменением шага и направления поиска.

$K_{c_{\min}}$ ,  $K_{c_{\max}}$  – диапазон возможных значений настроечного коэффициента;  
 $K_{c_n}$  – известное значение настроечного коэффициента;  
 $K_{c_{n+1}}$  – искомое значение настроечного коэффициента;  
 $h_1 \dots h_7$  – шаги итерационного алгоритма поиска настроечного коэффициента, величина шага  $h_7 = h_6/2$ .

Модели второй группы отличаются низкой объяснимостью полученных результатов и не учитывают тонкостей протекающих в моделируемом объекте реакций, а потому быстро теряют адекватность при значительном изменении входных координат процесса и требуют постоянной текущей идентификации.

Применение искусственных нейронных сетей (НС) на этапе идентификации частично решает данную проблему и позволяет определять настроечные коэффициенты практически мгновенно за счет аппроксимации информации о ранее найденных коэффициентах модели [1], однако также имеет ряд существенных недостатков.

НС учитывающая все параметры влияющие на адекватность математической модели оказывается избыточно сложна и требует значительных временных затрат на формирование и корректировку адекватной обучающей выборки. При значительном изменении параметров моделируемого процесса, таких как изменение характеристик исходного сырья, регенерация либо замена катализатора, чистка аппаратов, фильтров и т.д., выборка значений, по которой проводилось обучение НС, перестает быть актуальной и расчет настроечных коэффициентов по НС становится невозможным, либо осуществляется со значительной погрешностью. Подготовка новой обучающей выборки и переобучение нейронной сети опять же занимает длительное время. Упрощение структуры НС, используемой для идентификации, также ведет к снижению точности определения настроечных коэффициентов и, как следствие, к снижению адекватности идентифицируемой модели [3].

**Цель работы.** Целью данной работы является разработка комбинированного интеллектуального алгоритма идентификации математических моделей ХТП совмещающего классический итерационный алгоритм и нейронную сеть для минимизации времени поиска настроечных коэффициентов. При этом НС, имеющая упрощенную структуру и достаточно простая в обучении, используется для определения приближенного значения настроечного коэффициента математической модели, а итерационный алгоритм - для дальнейшего поиска настроечного коэффициента с заданной точностью и значительно меньшим количеством шагов (рис. 2).



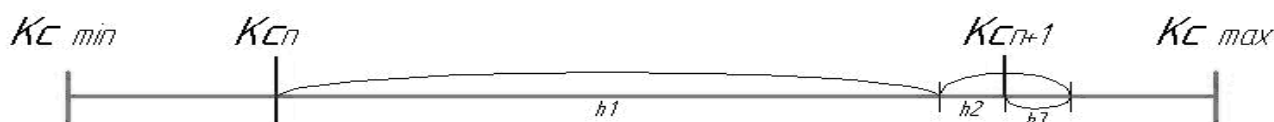


Рис. 2. Итерационно-нейросетевая идентификация математической модели.

$h_1$  – дистанция поиска скомпенсированная нейронной сетью;  
 $h_2, h_3$  – шаги выполняемые итерационным алгоритмом.

В процессе работы алгоритма идентификации, база данных содержащая информацию о найденных в прошлом настроечных коэффициентах, непрерывно растет. Соответственно непрерывно увеличивается количество примеров для обучения нейронной сети, а значит и точность определения настроечных коэффициентов. Если погрешность определения настроечных коэффициентов нейронной сетью соизмерима с погрешностью используемых итерационных алгоритмов, расчет настроечных коэффициентов математической модели может осуществляться только посредством нейронной сети и практически мгновенно.

Обобщенный алгоритм итерационно-нейросетевой идентификации математических моделей ХТП представлен на рис. 3.

На вход алгоритма идентификации поступают экспериментальные данные с технологического объекта и эти же данные рассчитанные по математической модели. Проверка адекватности модели осуществляется путем анализа функции ошибок модели. Если идентификация необходима, начинается циклическое уточнение настроечных коэффициентов  $K_1 \dots K_n$  начиная с последнего, до тех пор, пока не выполнится условие минимума функции ошибок. Для минимизации количества шагов поискового алгоритма, стартовое приближенное значение настроечных коэффициентов рассчитывается по НС. Дальнейшее уточнение значения настроечных коэффициентов осуществляется итерационным методом, с изменением шага и направления поиска. Уточненные настроечные коэффициенты передаются на вход математической модели.

Проверка эффективности предложенного метода итерационно-нейросетевой идентификации математических моделей была произведена с помощью модифицированной кинетической модели трехреакторного блока установки каталитического риформинга Л35-11/300. Модель представляет собой систему из трех последовательно соединенных кинетических моделей отдельных реакторов с тремя индивидуальными настроечными коэффициентами [4].

Нейросетевая часть алгоритма идентификации была реализована на базе нейронной сети обучаемой по принципу обратного распространения ошибки в виде трехслойного персептрона с одним скрытым слоем (рис. 4).

Оптимальное количество нейронов в скрытом слое определялось экспериментально и равно семи. Дальнейшее увеличения количества нейронов не давало заметного повышения точности расчета настроечного коэффициента, но значительно увеличивало объем исходных данным, необходимых для обучения сети.

В качестве активационной функции нейрона использовался сигмоид:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-ax}} \quad (1)$$

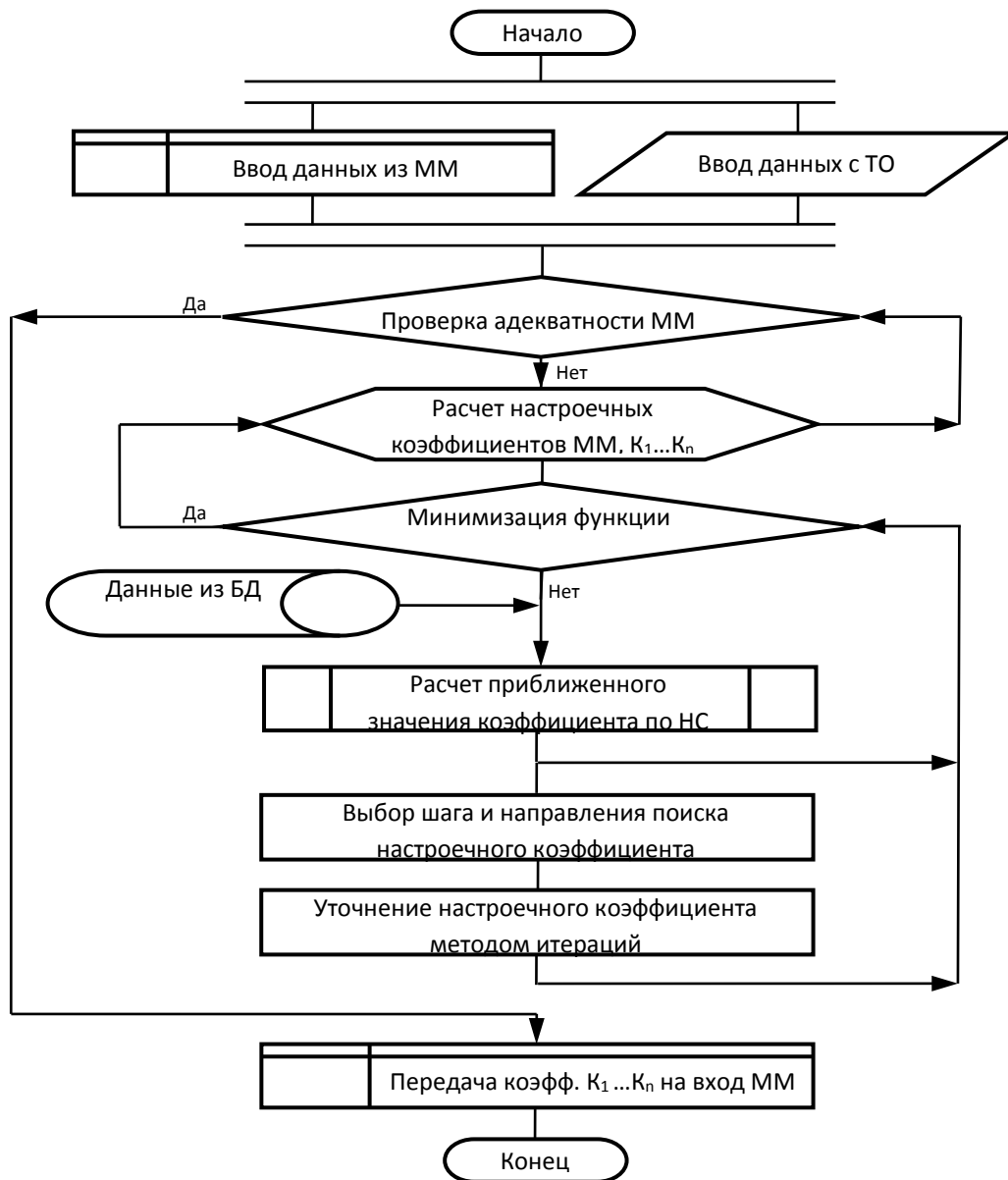


Рис. 3. Обобщенный алгоритм итерационно-нейросетевой идентификации математических моделей ХТП.

Параметр сигмоида также подбирался экспериментально и равен 0,92. Итерационная составляющая алгоритма реализована на базе метода поразрядного приближения со сменой шага и направления поиска.

Время работы алгоритма идентификации в значительной мере зависит от аппаратных и программных особенностей компьютера, на котором проводятся исследования. Поэтому для количественной оценки эффективности применения нейронной сети использовался такой параметр, как суммарное количество итераций совершенное поисковым алгоритмом при идентификации математической модели отдельного реактора каталитического риформинга. Это

позволило определить количество шагов поискового итерационного алгоритма, скомпенсированных нейронной сетью, что практически линейно соотносится со временем, затрачиваемым на идентификацию математической модели.

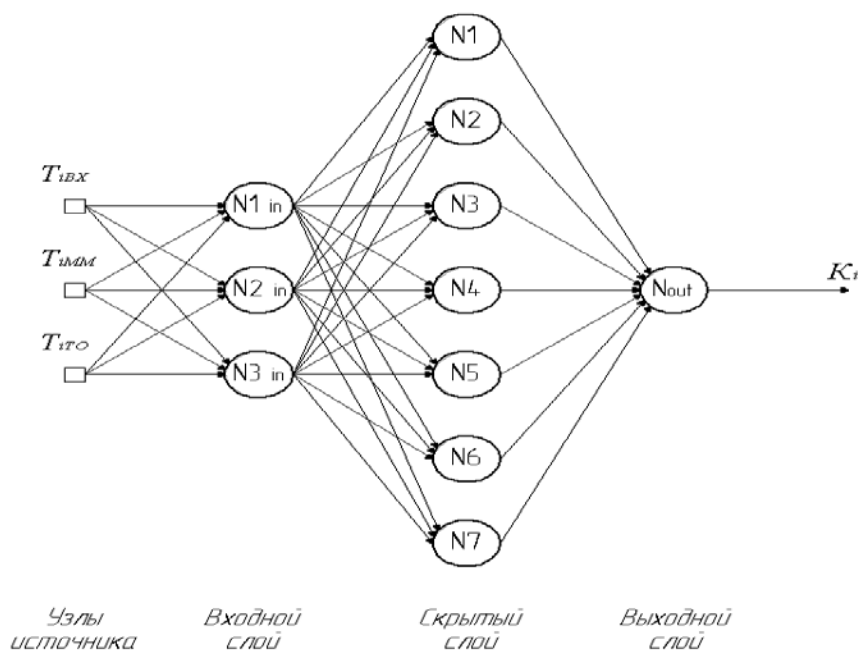


Рис. 4. Структура нейронной сети, трехслойный персептрон.

$K_i$  – настроечный коэффициент модели отдельного реактора;

$T_i$  – корректирующий фактор модели, перепад температур на входе-выходе реактора.

Для анализа использовались экспериментальные данные полученные с установки каталитического риформинга ПАТ «ЛУКОЙЛ - Одеський НПЗ», которые подавались на вход двух математических моделей. Для идентификации первой модели использовался классический итерационный алгоритм без НС. Для второй модели - разработанный алгоритм итерационно-нейросетевой идентификации, использующий НС для компенсации шагов поискового алгоритма.

Сравнительный анализ показал, что при использовании НС суммарное количество итераций, необходимых для поиска нового значения настроечного коэффициента математической модели уменьшается на 17...34% при 300 обучающих примерах и на 34...76% при 800 обучающих примерах для НС;

**Вывод.** Проведенная экспериментальная проверка предложенного комбинированного алгоритма итерационно-нейросетевой идентификации математических моделей ХТП показала, что применение нейронной сети для компенсации шагов поискового итерационного алгоритма позволяет снизить время идентификации на 30-70% и с ростом обучающей выборки для НС данная тенденция сохраняется.

#### Список литературы

1. Цыпкин, Я. З. Информационная теория идентификации / Я.З. Цыпкин – М.: Наука, 1995. – 336 с.
2. Быков В. И. Моделирование и оптимизация химико-технологических процессов / В.И. Быков, В.М. Журавлев. – Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2002.-298 с.

3. Левчук И.Л. Идентификация математической модели процесса каталитического риформинга на базе нейросетевых технологий / И.Л. Левчук // Математичне моделювання. – Дніпродзержинськ. – 2012. – №2. – С. 77-80.
4. Левчук И.Л. Разработка математической модели процесса каталитического риформинга в каскаде реакторов / И.Л. Левчук // Збірник наукових праць НГУ. – 2012. – №39. – С. 122 – 127.

*Рекомендовано к публикации д.т.н. Слесаревим В.В.  
Поступила в редакцию 16.01.15*

УДК 629.78.018

©И.Л. Левчук, Е.В. Белоброва, В.И. Корсун

## **ПРИНЦИПЫ ИНТЕГРАЦИИ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННО УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ В СОВРЕМЕННЫЕ SCADA СИСТЕМЫ**

В работе исследована проблема интеграции специального программного обеспечения, реализованного на языках программирования высокого уровня, в современные SCADA системы. Разработана обобщенная структура взаимодействия и произведена экспериментальная апробация предложенного способа интеграции на примере SCADA TRACE-MODE 6.

У роботі досліджена проблема інтеграції спеціального програмного забезпечення, реалізованого на мовах програмування високого рівня, в сучасні SCADA системи. Розроблено узагальнену структуру взаємодії спеціального програмного забезпечення з SCADA. Проведена експериментальна апробация запропонованого способу інтеграції на прикладі SCADA TRACE-MODE 6.

We have studied the problem of the integration of special software implemented on high level programming languages, in modern SCADA system. The generalized structure of the interaction of special software with SCADA and experimental validation of the proposed method on the example of the integration of SCADA TRACE-MODE 6.

**Вступление.** Современные АСУТП представляют собой сложные информационно-управляющие системы, функционал которых реализуется с использованием средств микропроцессорной вычислительной техники и соответствующего общего программного обеспечения. Решение задач верхнего уровня АСУТП, таких как оптимальное управление технологическими процессами по математическим моделям, требует разработки специального программного обеспечения которое, как правило, реализуется на распространенных языках программирования высокого уровня (Delphi, C++, VB). На определенном этапе перед разработчиками встает проблема интеграции общего и специального программного обеспечения в рамках единого комплекса, обеспечивающего функционирование системы управления.

**Анализ исследований и публикаций.** Область применения АСУТП значительно расширилась в последние годы, благодаря прогрессу в области вычислительной техники, коммуникаций и программного обеспечения. В то же время интенсивное использование информационных технологий в промышленной автоматизации вызвало перераспределение функций между

человеком и аппаратурой, обострило проблему взаимодействия человека-оператора с системой управления [1].

Анализ причин большинства аварий в сложных автоматизированных системах в промышленности и на транспорте показал, что если в 60-х годах XX века ошибка человека являлась первопричиной лишь 20% инцидентов, то уже к 90-м годам XX века доля «человеческого фактора» выросла до 80% (рис. 1) [2]. Постоянное совершенствование технологий, непрерывное повышение надежности электронного оборудования и машин, а также экспоненциальный характер представленных зависимостей позволяет утверждать, что доля «человеческого фактора» будет и далее расти.

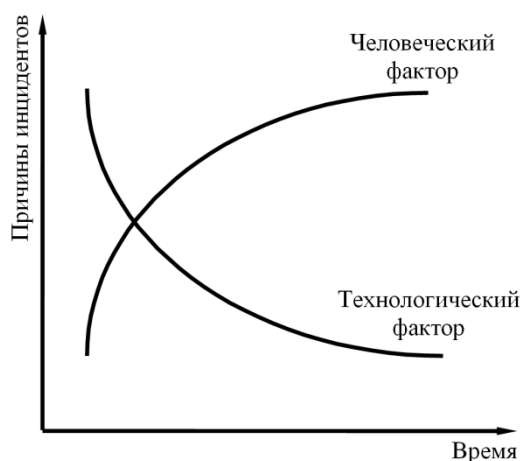


Рис. 1. Причины аварий в сложных автоматизированных системах.

Основной причиной сложившихся тенденций является старый традиционный подход к разработке АСУ, при котором разработчики в первую очередь ориентируются на применение новейших технических и технологических достижений, стремятся повысить степень автоматизации и функциональные возможности системы, недооценивая при этом необходимость реализации эффективного человеко-машинного интерфейса (HMI - Human-Machine Interface). Интерфейса, обеспечивающего взаимодействие человека-оператора с системой управления. Описанная проблема стала особенно актуальна в последние 15 лет, на которые приходится пик внедрения в область промышленной автоматизации инновационных сетевых и компьютерных технологий.

В последние десятилетия в США и Европе проводились интенсивные исследования, посвященные оптимизации и повышению эффективности HMI, результатом которых явился новый подход к разработке и проектированию АСУ. На смену традиционному, «hardware-centered» или «bottom-up, снизу-вверх» принципу проектирования, пришел новый, «human-centered design» или «top-down, сверху-вниз» принцип разработки АСУ. Ярким примером реализации нового подхода явились SCADA-системы, которые иногда также называют SCADA/HMI системами [3].

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition - диспетчерское управление и сбор данных) в настоящее время одна из наиболее интенсивно развивающихся и перспективных технологий разработки программного обеспечения АСУ во многих отраслях промышленности. В наибольшей степени управление на основе SCADA применимо для автоматизации непрерывных и распределенных технологических процессов [3,4].

**Целью данной работы** является исследование и разработка методов интеграции специального программного обеспечения АСУТП, реализованного на языках программирования высокого уровня, в современные SCADA системы.

**Изложение основного материала.** Возможны два способа интеграции стороннего программного обеспечения в современные SCADA:

1. Реализация разработанных способов, методов, алгоритмов на одном из поддерживаемых выбранной SCADA системой языков программирования стандарта МЭК 61131 (SFC, IL, ST, LD, FBD) [4];
2. Реализация разработанных алгоритмов на общепринятых языках программирования высокого уровня, с дальнейшим их подключением к SCADA системе в виде внешнего модуля;

Первый вариант влечет за собой значительные трудности, связанные с особенностями программирования алгоритмов на языках стандарта МЭК. Данные языки изначально разрабатывались как средство программирования программируемых логических контроллеров (ПЛК) и представляют собой либо значительно упрощенные и измененные варианты классических языков программирования (ST – Pascal, IL – Assembler), либо специализированные языки, предназначенные для решения специфических задач (LD – язык описания релейных схем). Языки SFC и FBD относятся к так называемым «визуализированным» языкам программирования, и предназначены для использования персоналом, не являющимся специалистами в области программирования. Программы на этих языках создаются как конструктор из уже готовых функциональных блоков, находящихся в специальной базе данных.

Очевидно, что программирование сложных и разветвленных алгоритмов на языках стандарта МЭК связано со значительными трудностями, если вообще возможно.

Второй вариант решения задачи интеграции разработанного программного комплекса в современные SCADA, является более предпочтительным. Он позволяет реализовать программное обеспечение практически на любом современном языке программирования высокого уровня (Delphi, C++, VBA и т.д.), а для интеграции полученных программ в SCADA использовать средства предусмотренные разработчиками выбранной SCADA системы, а также стандартные средства операционной системы.

В процессе интеграции также необходимо решить следующие задачи:

1. Предусмотреть возможность двустороннего обмена информацией между SCADA системой и разработанным программным обеспечением. Типы

данных, используемые в современных языках программирования высокого уровня, могут не иметь аналогов в целевой SCADA системе и наоборот.

2. Реализовать управление запуском и остановом различных модулей разработанного комплекса программ из SCADA системы. Какие-то модули встраиваемого программного обеспечения подлежат непрерывному циклическому пересчету, другие запускаются периодически, либо по мере необходимости.

Решение поставленных задач возможно путем создания специализированной промежуточной программы, обеспечивающей ретрансляцию и согласование типов данных, а также управление комплексом программ, в соответствии с командами, поступающими из SCADA системы.

Предположим, что программное обеспечение, подлежащее интеграции в SCADA, решает задачу оптимального управления неким технологическим процессом по математической модели и состоит из следующих основных программных модулей, написанных на произвольном языке программирования высокого уровня:

1. Модуль математической модели процесса;
2. Модуль идентификации мат. модели;
3. Модуль расчета оптимальных режимов процесса по математической модели.

Необходимо учесть, что различные составляющие данного программного обеспечения работают в разных режимах. Модуль оптимизации функционирует в режиме реального времени, непрерывно рассчитывая и уточняя оптимальные значения заданий для регуляторов, программно реализованных в ПЛК. Модуль идентификации включается и вычисляет новые значения настроечных коэффициентов математической модели периодически, при выходе погрешности модели по целевым расчетным параметрам за установленную границу. Сама математическая модель используется непрерывно в ходе расчета оптимальных режимов и периодически при идентификации.

Обобщенная структура взаимодействия SCADA с разработанным программным обеспечением представлена на рис. 2.

Взаимодействие SCADA и разработанного программного обеспечения происходит через модуль-ретранслятор, который решает задачу двустороннего обмена и преобразования информации, а также запуска и останова отдельных программных модулей в соответствии с управляющими командами, поступающими из SCADA. Модуль-ретранслятор также связан с АРМ оператора, это позволяет осуществлять настройку и модификацию используемого программного обеспечения. Математическая модель взаимодействует со SCADA через блок расчета оптимальных режимов процесса, который работает непрерывно, а также через блок идентификации настроечных коэффициентов модели, который запускается по команде SCADA при потере моделью адекватности.

Представленный в работе метод подключения внешних программных модулей к современным SCADA экспериментально апробирован на примере SCADA системы TRACE-MODE 6 и программного обеспечения для

моделирования и статической оптимизации массообменных, совмещенных и каталитических процессов с распределенными управляющими воздействиями. Данное программное обеспечение было разработано в рамках научно-исследовательских работ (НДР № 0111U008143 «Разработка и исследование компьютерно-интегрированных систем управления (КИСУ)») на кафедре компьютерно-интегрированных технологий и метрологии Украинского государственного химико-технологического университета на языках программирования высокого уровня Delphi и C++.

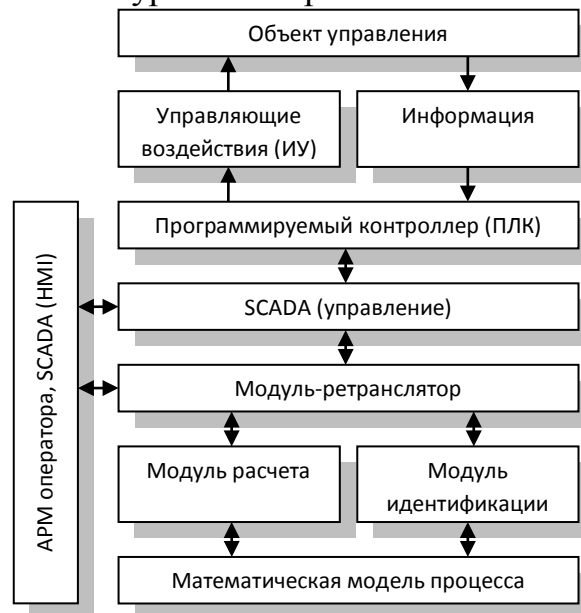


Рис. 2. Структурная схема взаимодействия разработанного программного комплекса со SCADA системой

SCADA система TRACE MODE компании Adastra Ltd получила достаточно широкое распространение на территории нашей страны и выгодно отличается от других известных аналогов невысокой стоимостью без ущерба функциональности, широкой поддержкой различного оборудования, наличием документации и технической поддержки на русском языке.

Основным исполнительным модулем данной системы является монитор реального времени (МРВ), который включает в себя сервер реального времени, графический клиент и реализует следующие основные функции [5]:

- сбор данных с УСО через встроенные и пользовательские драйверы TRACE MODE, DDE и OPC;
- первичная обработка информации - фильтрация, масштабирование, контроль границ и т.д.;
- управление технологическим процессом и регулирование по алгоритмам, запрограммированным на языках стандарта МЭК 61131;
- визуализация информации на мнемосхемах и трендах (HMI);
- ведение отчета тревог;
- предоставление HMI-информации клиентам и другим серверам TRACE MODE;



MPB обладает широкими возможностями для реализации HMI, и поддерживает неограниченное количество УСО, используя различные программные и аппаратные интерфейсы для их подключения.

Рассмотрим принципы подключения внешних программных модулей к SCADA TRACE-MODE, наиболее просто это сделать следующим образом.

Язык программирования Техно-ST, поддерживаемый данной SCADA, позволяет задействовать функции из внешних динамических библиотек (DLL). Библиотеки должны располагаться в директории, из которой запускается монитор реального времени, или в директории, путь к которой указан в переменной PATH операционной системы. Для конфигурирования вызовов внешних функций используются специальные табличные редакторы (рис. 3-5).

Имя подключаемой библиотеки и комментарий к ней указываются в редакторе, который открывается в окне структуры программы, в группе «Внешние библиотеки» (рис. 3). Имя библиотеки указывается без расширения.

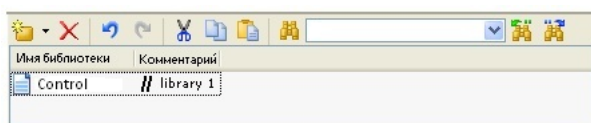


Рис. 3. Редактор имени внешней библиотеки

Библиотечные функции, которые необходимо вызывать из внешней динамической библиотеки описываются в табличном редакторе, который также открывается в окне структуры программы на имени внешней библиотеки (рис. 4).

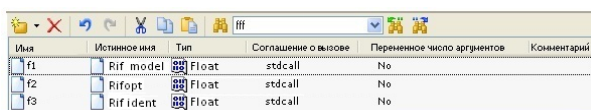


Рис. 4. Редактор функций внешней динамической библиотеки

Аргументы внешних функций описываются в табличном редакторе, который открывается в группе «Аргументы» функции в окне структуры программы (рис. 5).

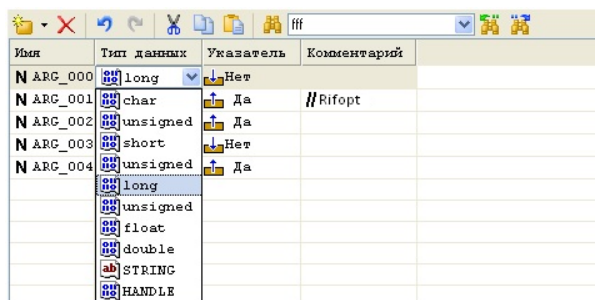


Рис. 5. Редактор аргументов функций внешней динамической библиотеки

Управляющий модуль «Control» (рис. 3) работает в качестве модуля-ретранслятора (рис. 2) и обеспечивает конвертацию типов данных использованных в специальном программном обеспечении и неподдерживаемых на уровне SCADA, таких как динамические переменные и многомерные массивы. Также в данном модуле была реализована система флагов на основе переменных логического типа «Bool», позволяющая управлять работой, запуском и остановом подпрограмм, реализующих математическую модель, алгоритмы идентификации и расчета оптимальных режимов соответствующих технологических процессов по математической модели.

#### **Выводы.**

В работе исследована проблема интеграции специального программного обеспечения информационно-управляющих систем в современные SCADA системы. Рассмотрены возможные способы решения поставленной задачи, выявлены их особенности, преимущества и недостатки. Обоснован выбор наилучшего варианта решения задачи и произведена его экспериментальная апробация на примере SCADA TRACE-MODE 6 и специального программного обеспечения для моделирования и статической оптимизации массообменных, совмещенных и каталитических процессов с распределенными управляющими воздействиями.

#### Список литературы

1. Минитаева А.М. Введение в проблему человеко-машинного интерфейса с учетом взаимодействия вычислительной машины / Современные проблемы информационной безопасности и программной инженерии: сб. избран. стат. науч.-методологич. сем. № 3 кафедры ИБиПИ / А.М. Минитаева // М.: Изд-во «Спутник», 2012. С. 73–77.
2. Расмуссен Й. Чему учат ошибки человека? // Психология труда и организационная психология: современное состояние и перспективы развития. Хрестоматия / Ред. А.Б. Леонова, О.Н. Чернышева. - М., 1995. - С. 117-135.
3. Пономарев О.П. SCADA- системы: уч.-мет. пособие / О.П. Пономарев. – Калинин-град, 2006. – 78 с.
4. Петров И. В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного проектирования / И. В. Петров; под ред. проф. В. П. Дьяконова – М. : СОЛОН-Пресс, 2004. – 256с.
5. Ефимов И.П. SCADA – система Trace Mode / И. П. Ефимов, Д. Солуянов-Ульяновск : УлГТУ, 2010г. – 158 с.

*Рекомендовано к публикации д.т.н. Мещеряковим Л.И.  
Поступила в редакцию 16.01.15*

## АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ТЕМПЕРАТУРЫ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ С ПРИЗЕМНЫМИ КОНЦЕНТРАЦИЯМИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ

Приведены результаты исследований зависимости приземных концентраций загрязняющих воздушную среду веществ от температуры промышленных (вентиляционных) выбросов. Определен характер нелинейной взаимосвязи исследуемых величин.

Приведені результати досліджень залежності приземних концентрацій забруднюючих повітряне середовище речовин від температури промислових (вентиляційних) викидів. Визначений характер нелінійного взаємозв'язку досліджуваних величин.

The results of researches of dependence of the ground concentrations are resulted contaminating the air environment of matters from the temperature of industrial (vent) extrass.

Character of nonlinear intercommunication of the probed sizes is certain.

**Вступление.** В основном существуют три основных источника загрязнения атмосферы: промышленность, бытовые котельные, транспорт. Доля каждого из этих источников в общем загрязнении воздуха сильно различается в зависимости от места. Сейчас общепризнано, что наиболее сильно загрязняет воздух промышленное производство. Источники загрязнений- теплоэлектростанции, которые вместе с дымом выбрасывают в воздух сернистый и углекислый газ, металлургические предприятия, особенно цветной металлургии, которые выбрасывают в воздух окислы азота, сероводород, хлор, фтор, аммиак, соединения фосфора, частицы и соединения ртути и мышьяка; химические и цементные заводы. Вредные газы попадают в воздух в результате сжигания топлива для нужд промышленности, отопления жилищ, работы транспорта, сжигания и переработки бытовых и промышленных отходов.

В тоже время с дымовыми газами выбрасываются тысячи Гкал теплоты. В настоящее время активно разрабатывают способы утилизации этого тепла для нагрева приточного воздуха и отопления помещений [1, 2].

Утилизация теплоты вентиляционных выбросов может осуществляться следующими способами:

- рециркуляцией части вытяжного воздуха;
- применением рекуперативных теплообменников-утилизаторов;
- применением регенеративных теплообменников-утилизаторов;
- применением двух рекуперативных теплообменников, использующих промежуточный теплоноситель;
- применением теплопередающих труб.

Наиболее глубокое использование теплоты сжигания топлива осуществляется в теплоэнергетических котлах. Дымовые газы после различного рода печей имеют температуру 130—190°C с использованием экономайзера, а без него 300-500°C и выше. В этом случае утилизация теплоты (и охлаждение газов) просто обязательна, хотя бы для ограничения теплового загрязнения окружающей среды.

Целью статьи является исследование взаимосвязи между температурой газовых выбросов и величинами приземных концентраций загрязняющих веществ, которые выбрасываются в атмосферу.

Изложение основного материала исследований. В соответствии с методикой расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД 86) [2], максимальное значение приземной концентрации вредного вещества  $C_m$  (мг/м<sup>3</sup>) при выбросе газовой смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем достигается при неблагоприятных метеорологических условиях на расстоянии  $x_m$  (м) от источника и определяется по формуле:

$$C_m = \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}}, \quad (1)$$

где  $A$  – коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы;  $M$  – масса вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу в единицу времени, г/с;  $F$  – безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе;  $m$  и  $n$  – коэффициенты, учитывающие условия выхода газовой смеси из устья источника выброса;  $H$  – высота источника выброса над уровнем земли (для наземных источников при расчете принимается  $H = 2$  м), м;  $\eta$  – безразмерный коэффициент, учитывающий влияние рельефа местности;  $\Delta T$  – разность между температурой выбрасываемой газовой смеси  $T_g$  и температурой окружающего атмосферного воздуха

$T_b$ , 0С;  $V_1$ , м<sup>3</sup>/с – расход газовой смеси.

Значение мощности выброса ( $M$ , г/с) и расходов газовой смеси ( $V_1$ , м<sup>3</sup>/с) при проектировании предприятий определяется расчетом в технологической части проекта или принимается в соответствии с существующими нормативами.

При определении значения  $\Delta T$  (0С) следует принимать температуру окружающего атмосферного воздуха  $T_b$  (0С), равной средней максимальной температуре наружного воздуха наиболее жаркого месяца года (согласно СНиП 2.01.01-82), а температуру выбрасываемой в атмосферу газовой смеси  $T_g$  (0С) – по действующим для данного производства технологическим нормативам.

В развитие результатов [1] попытаемся составить схему возможных вариантов расчета взаимосвязи  $c_m$  ( $\Delta T$ ). Методика [2] рекомендует 3 варианта расчета величины  $c_m$ : условно общий случай ( $C_m^I$ ), холодные выбросы ( $C_m^{II}$ ) и предельно малые опасные скорости ветра ( $C_m^{III}$ ), что в свою очередь определяется значениями вспомогательных величин  $f, f_e, v_m, v_m'$ .

Для удобства введем условное обозначение  $C_0 = A \cdot M \cdot F \cdot \eta$ , тогда рекомендуемые формулы для определения  $C_m$  примут вид:

$$C_m^I = \frac{C_0 \cdot m \cdot n}{H^2 \sqrt[3]{V_1 \Delta T}} \quad (\text{общий случай}), \quad C_m^{II} = \frac{C_0 \cdot n}{H^{4/3}} \cdot K \quad (\text{холодные выбросы}), \text{здесь}$$

$$K = \frac{D}{8V_1} = \frac{1}{7,1 \sqrt{\omega_0 V_1}}, \quad C_m^{III} = \frac{C_0 \cdot m'}{H^{7/3}} \quad (\text{предельно малые опасные скорости ветра}).$$

Рассмотрим эти случаи по порядку, следуя логике [2]:

1.1.  $f \geq 100$ ,  $V'_m \geq 0,5$  - применяем формулу  $C_m^{II}$  с тремя вариантами для определения  $n$  [2] ( т.е. случаи 1.1.1-1.1.3).

1.2.  $f \geq 100$ ,  $V'_m \leq 0,5$  - применяем формулу  $C_m^{III}$  с двумя вариантами для нахождения  $m'$  [2] (случай 1.2.1.-1.2.2.).

2.1.  $f < 100$ ,  $f < f_e$ ,  $m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}$ ,  $n = 1$  при  $v_m \geq 2$ ;  $n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13$  при  $0,5 \leq v_m < 2$ , применяем формулу  $C_m^I$ ,  $n = 4,4 v_m$  при  $v_m < 0,5$ , применяем формулу  $C_m^{III}$ , т.е случаи (2.1.1-2.1.3).

2.2.  $f < 100$ ,  $f > f_e$ ,  $m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f_e} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f_e}}$ ,  $n = 1$  при  $v_m \geq 2$ ;  $n = 0,532 v_m^2 - 2,13 v_m + 3,13$  при  $0,5 \leq v_m < 2$ ; применяем формулу  $C_m^I$ ;  $n = 4,4 v_m$  при  $v_m < 0,5$ , применяем формулу  $C_m^{III}$ , т.е случаи (2.2.1-2.2.3).

С учетом всех подслучаев имеем 11 вариантов определения взаимосвязи  $C_m$  и  $\Delta T$ . Для дальнейшего достижения цели эти варианты необходимо рассмотреть подробно с учетом имеющихся ограничений.

Следуя логике изложения, вариант (1.1.1) имеет следующее представление:

$$f \geq 100, \quad V'_m \geq 0,5, \quad V'_m > 2, \quad n=1, \quad C_m = C_m^I, \quad \text{следовательно} \quad V'_m = \frac{1,3 \cdot \omega_0 \cdot D}{H} \geq 2,$$

$$f = 1000 \frac{\omega_0^2 \cdot D}{H^2 \Delta T} \geq 100.$$

Некоторые выводы. В рассмотренном случае (холодных выбросов) величина максимальной приземной концентрации напрямую не связана со значением разности температуры выбросов и температуры наружного воздуха  $\Delta T$ . Значение  $C_m$  не может превосходить величины  $\frac{C_0}{1,538 \cdot 2\pi \cdot H^{7/3}} \sim 0,10 \frac{C_0}{H^{7/3}}$  для заданных ограничений.

Вариант (1.1.2) имеет следующую систему ограничений и функций:

$$f \geq 100, \quad V'_m \geq 0,5 \quad \text{или} \quad 0,5 \leq V'_m \leq 2, \quad n = 0,532 v'_m{}^2 - 2,13 v'_m + 3,13,$$

$$C_m = \frac{C_0 \cdot n \cdot K}{H^{4/3}} = C_0 [0,532 \cdot (1,3 \frac{\omega_0 D}{H})^2 - 2,13 \cdot (1,3 \frac{\omega_0 D}{H}) + 3,13] \cdot \frac{D}{2\pi D^2 \omega_0 H^{4/3}}, 0,5 \leq \frac{1,3 \omega_0 D}{H} \leq 2.$$

Здесь принципиально имеем тот же случай, только в силу того, что величина  $n$  изменяется в диапазоне от 1 до примерно 2,2 ( так как  $0,5 \leq V'_m = 1,3 \frac{\omega_0 D}{H} \leq 2$ ) значения  $C_m$  будут выше чем в предыдущем случае.

Случай 1.1.3. разбирается аналогично, только здесь происходит падение величины  $C_m$  при  $V'_m \rightarrow 0$ . Максимальное значение концентрации  $C_m$  достигается при  $V'_m = 0,5$ .

Таким образом в случае  $f \geq 100$  и  $V'_m \geq 0,5$  значение  $C_m$  явно не зависит от величины  $\Delta T$ .

Не очевидно, что и в случаях 1.2.1, 1.2.2 имеет место та же ситуация.

$$\text{Случай 1.2.2. } f \geq 100, V'_m < 100, m' = 0,9, C_m = C_m^{III} = \frac{C_o m'}{H^{7/3}} = \frac{C_o \cdot 0,9}{H^{7/3}}.$$

Как видно, прямой зависимости максимальной приземной концентрации от разности температур не наблюдается.

$$\text{Случай 1.2.1. } f < 100, V_m < 0,5, C_m = C_m^{III} = \frac{C_o \cdot 2,86m}{H^{7/3}}.$$

Этот случай разбивается на 2 подслучая: 1.2.1.а -  $f \leq f_e$  и 1.2.1.б -  $f \geq f_e$ .

Во втором случае 1.2.1.б  $m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f_e} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f_e}}$ . В этом подслучае нет связи

между  $C_m$  и  $\Delta T$ , т.к.  $f_e$  от  $\Delta T$  не зависит и  $C_m^{III}$  так же.

Для случая 1.2.1.а имеем:

$$C_m = \frac{C_o \cdot m'}{H^{7/3}}, \quad m' = 2,86m, \quad f \leq f_e, \quad m = \frac{1}{0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}},$$

$$C_m = \frac{C_o \cdot 2,86}{(0,67 + 0,1\sqrt{f} + 0,34 \cdot \sqrt[3]{f}) H^{7/3}}, \quad f_e < f < 100, V_m < 0,5, f = 1000 \frac{\omega_o^2 D}{H^2 \Delta T}.$$

В этом варианте может наблюдаться увеличение значения  $C_m$  при росте величины  $\Delta T$  ( $C_m$  находится в обратной зависимости от  $f$ , а  $f$ , в свою, очередь в обратно пропорциональной).

**Выводы.** Таким образом, проведенный анализ показал неоднозначную взаимосвязь рассматриваемых величин  $C_m$  и  $\Delta T$ . В зависимости от исходных данных может отсутствовать явная функциональная взаимосвязь, может быть прямая или обратная связь этих величин. В случаях, которые не рассмотрены предполагается наличие экстремума функции  $C_m$  ( $\Delta T$ ) при принятых ограничениях. При детальном рассмотрении формулы (1) нельзя однозначно говорить о том, что с увеличением  $\Delta T$  величина  $C_m$  падает (т.к.  $\Delta T$  находится в знаменателе выражения). С практической точки зрения необходимо обеспечить диапазон значений  $\Delta T$  при котором приземные концентрации вредных веществ будут наименьшими.

#### Список литературы

1. Полищук С.З., Кушнир Е.Г., Полищук А.В., Петровций О.В., Троценко А.В., Утилизация теплоты газовых выбросов и качество воздушной среды.// Неделя эколога – 2015, Международный научный симпозиум, 13-16 апреля 2015.: Тез. док.- Днепродзержинск, 2015.- С. 222-223.
2. «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий». Гидрометеоздат: Л.: 1987, ОНД 86. - 95 с.

*Рекомендовано к публикации д.т.н. Зберовським О.В.  
Поступила в редакцию 16.01.15*

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РИСКА ПРЕВЫШЕНИЯ СРЕДНЕСУТОЧНЫХ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ В СИСТЕМЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГОРОДА

Разработана стохастическая математическая модель изменения среднесуточных концентраций загрязняющих веществ на городских постах измерений. Концентрации представлены в виде системы случайных величин, многомерная плотность которой определена по результатам статистической обработки данных измерений. С использованием этой модели определен экологический риск как вероятность превышения хотя бы одной концентрацией своего среднесуточного предельно допустимого значения.

Розроблена стохастична математична модель зміни середньодобових концентрацій забруднюючих речовин на міських постах вимірювань. Концентрації представлені у вигляді системи випадкових величин, багатовимірна щільність якої визначена за результатами статистичної обробки даних вимірювань. З використанням цієї моделі визначено екологічний ризик як ймовірність перевищення хоча б однією концентрацією свого середньодобового гранично допустимого значення.

Developed a stochastic mathematical model of the variation of daily average concentrations of pollutants on urban stations measurements. The concentrations presented in the form of a system of random variables, multivariate density of which is determined by the results of statistical processing of measurement data. Using this model identifiable environmental risk as a probability of exceedance of daily average concentrations the maximum permissible values.

**Введение.** В работах [1-3] получены стохастические (вероятностные) математические модели распространения загрязнений от стационарных точечных источников выбросов. Они являются как прогнозными [1-3], так и опытными, использующими данные подфакельных измерений [3], и предназначены для применения в автоматизированной системе экологического мониторинга предприятия. С использованием этих моделей разработаны методики (алгоритмы) прогнозной и опытной оценки экологического риска от загрязнения атмосферы.

Поле  $n$  концентраций  $C_j(x, y)$ ,  $j = \overline{1, n}$ , в окрестности источников выбросов в заданной точке местности с координатами  $x, y$  представлено в виде системы случайных величин (векторной случайной величины [4]) с некоторой многомерной плотностью распределения  $f(C_1, C_2, \dots, C_n)$ . Суммарный экологический риск  $\alpha$  от нормально (штатно) функционирующих источников выбросов рассматривается как интеграл вероятности превышения хотя бы одной концентрацией загрязняющих веществ (ЗВ) своей нормативной максимальной разовой предельно допустимой концентрации ПДК<sub>мрj</sub>,  $j = \overline{1, n}$

$$\alpha = \int_{\text{ПДК}_{\text{мр}1}}^{\infty} \dots \int_{\text{ПДК}_{\text{мр}n}}^{\infty} f \cdot n(C_1, C_2, \dots, C_n) dC_1 dC_2 \dots dC_n \quad (1)$$

Экологический риск от отдельных  $j$ -тых ЗВ характеризуется интегралом вероятности превышения концентрацией  $j$ -го ЗВ своей ПДК $_{мрj}$

$$\alpha = \int_{\text{ПДК}_{мрj}}^{\infty} f_j(c_j) dc_j \quad (2)$$

При этом в соответствии с определением ПДК $_{мрj}$  [5] с вероятностью  $P=1-\alpha$  предотвращается появление запахов, раздражающего действия и рефлекторных реакций у населения, а также острого влияния атмосферных загрязнений на здоровье в период кратковременных подъемов концентраций.

Такой подход отличается от рекомендованного в [6], в котором допускается заболевание населения, что наступает при превышении ПДК $_{мрj}$  в 3-4 и более раз, т.е. допускается превышение действующего норматива. В рассматриваемом подходе при обеспечении малого экологического риска  $\alpha$  ( $\alpha=0,003-0,005$ ) с высокой надежностью  $P$  обеспечивается выполнение нормативов ПДК $_{мрj}$ ,  $j = \overline{1, n}$  в условиях влияния возмущающих факторов – случайных отклонений проектных параметров источников и характеристик внешней среды.

Второй нормативной предельно допустимой концентрацией ЗВ в Украине принята среднесуточная концентрация - ПДК $_{ссj}$ ,  $j = \overline{1, n}$ , при обеспечении которой предотвращается влияние на здоровье населения при длительном поступлении атмосферных загрязнений в организм.

**Целью** настоящей статьи является применение указанного выше подхода к оценке экологического риска превышения среднесуточными концентрациями ЗВ своих ПДК $_{сс}$ . Так как прогнозная методика оценки среднесуточных концентраций ЗВ отсутствует, то они определяются по данным измерений на стационарных постах наблюдения Гидромета.

**Постановка задачи.** При постановке задачи считаются заданными даты измерений за некоторый период  $T$  времени, время  $t$  суточных измерений концентраций  $C_{ji}^{тк}$ , мг/м $^3$ ,  $j$ -тых загрязняющих веществ на  $k$ -том посту за  $i$ -тые сутки (если они есть, т.к. измерение концентраций всех ЗВ производится не всегда и не на всех постах). Заданы также ПДК $_{ссj}$  всех ( $j = \overline{1, n}$ )  $j$ -тых ЗВ, для которых производились измерения на всех  $k$ -тых постах.

Необходимо определить в районе  $k$ -тых постов экологические риски превышения ПДК $_{ссj}$  от загрязнения атмосферы всеми ЗВ  $\alpha_k$  и отдельными ЗВ -  $\alpha_{jk}$ .

**Метод решения.** Построим математическую модель задачи и разработаем метод ее решения. В соответствии с принятым подходом рассмотрим среднесуточную концентрацию отдельного  $j$ -того ЗВ на  $k$ -том посту как случайную величину  $C_{jk}$ , а концентрации всех ЗВ на  $k$ -том посту – как систему зависимых случайных величин ( $C_{1k}, C_{2k}, \dots, C_{nk}$ ).

Тогда экологический риск  $\alpha_{jk}$  от загрязнения атмосферы отдельными веществами на  $k$ -том посту определится как одномерный интеграл вероятности (2), а от загрязнения всеми веществами  $\alpha_k$  – через многомерный



интеграл вероятности (1) в которых пределы интегрирования ПДК<sub>мрj</sub> заменены на ПДК<sub>ссj</sub>. При этом на каждом посту одномерная f<sub>jk</sub> и многомерная f<sub>k</sub> плотности распределения случайных изменений концентраций C<sub>jk</sub> и системы концентраций (C<sub>1к</sub>, C<sub>2к</sub>, ...C<sub>пк</sub>) могут быть получены на основании данных измерений на постах.

Учитывая природу и большое число случайных возмущающих факторов, вызывающих случайный разброс концентраций ЗВ, в соответствии с предельными теоремами теории вероятностей плотности f<sub>jk</sub> и f<sub>k</sub> можно приближенно рассматривать как имеющие соответственно одномерное и многомерное нормальные распределения [4].

Тогда для определения плотностей f<sub>jk</sub> и f<sub>k</sub> экологических рисков (1) и (2) на каждом посту достаточно определить числовые характеристики плотности распределения среднесуточных концентраций – математические ожидания C<sub>j</sub><sup>\*k</sup>, среднеквадратические отклонения σ<sub>j</sub><sup>k</sup> и коэффициенты корреляции r<sub>jp</sub><sup>k</sup> между j-той и p-той концентрациями.

Будем считать, что из всего периода T измерений выбран период Tf, для которого производится оценка экологических рисков α<sub>jk</sub>, α<sub>k</sub>. В нем выделим множество суток I<sub>jk</sub><sup>Σ</sup> и соответствующие им концентрации j-тых ЗВ на k-том посту C<sub>ji</sub><sup>k</sup>, i ∈ I<sub>jk</sub><sup>Σ</sup> за i-тые сутки, которые получают как среднее значение измеренных за рассматриваемые сутки концентраций. Для множества суток I<sub>jk</sub><sup>Σ</sup> на основании статической обработки среднесуточных концентраций определяем [4].

- средние значения среднесуточных концентраций

$$C_j^{*k} = \frac{1}{n_j^k} \sum_{i \in I_{jk}^{\Sigma}} C_{ji}^k, \quad (3)$$

где n<sub>j</sub><sup>k</sup> - число суток в множестве I<sub>jk</sub><sup>Σ</sup>,

- среднеквадратические отклонения

$$\sigma_j^k = \left[ \frac{1}{n_j^k - 1} \sum_{i \in I_{jk}^{\Sigma}} (C_{ji}^k - C_j^{*k})^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (4)$$

- коэффициенты корреляции между r<sub>jp</sub><sup>k</sup> среднесуточными концентрациями j-того и p-го ЗВ

$$r_{jp}^k = \frac{K_{jp}^k}{\sigma_j^k \sigma_p^k}; \quad K_{jp}^k = \frac{1}{n_j^k - 1} \sum_{i=1}^{n_j^k} (C_{ji}^k - C_j^{*k})(C_{pi}^k - C_p^{*k}) \quad (5)$$

Полученные числовые характеристики плотности распределения концентраций (3) – (5) теперь позволяют определить экологические риски (1), (2) превышения не ПДК<sub>мрj</sub>, а величин ПДК<sub>ссj</sub>.

Так как вычисление многомерного интеграла (1) при больших  $n$  вызывает непреодолимые вычислительные трудности, то для определения рисков  $\alpha^k$  воспользуемся его приближенным значением, предложенным в [5, 6].

$$\alpha^k = 1 - F_n^k = \prod_{j=1}^n F(h_j^k) + \frac{1}{n(n-1)\pi} \sum_{j \neq i} \sum_{i=1}^n \arcsin r_{ji}^k \times \left[ F(h_{\min}^k) - \prod_{j=1}^n F(h_j^k) \right] \quad (6)$$

$$h_j^k = \frac{\text{ПДК}_{ccj} - C_j^{*k}}{\sigma_j^k}; \quad h_{\min}^k = \min h_j^k; \quad (6a)$$

где

$F_n^k$  - многомерная нормальная функция распределения [4];

$$\alpha_j^k = F(h_j^k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{h_j^k} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt$$

- одномерная нормальная функция распределения [4], для которой имеются таблицы [4] или стандартные программы вычислений на ПЭВМ с помощью рядов [6];

$C_j^k$ ,  $\sigma_j^k$ ;  $r_{ji}^k$  - числовые характеристики, определяемые соответственно по (3) – (5).

При большом числе измерений риски  $\alpha^k$  и  $\alpha_j^k$  будем также оценивать по частоте превышения полученными среднесуточными концентрациями своих  $\text{ПДК}_{ccj}$ , которая при числе измерений  $n_j^k \rightarrow \infty$ , будет стремиться к соответствующим вероятностям [4]:

$$\alpha_j^k = \frac{m_j^k}{n_j^k}; \quad \alpha^k = \frac{m_{\Sigma}^k}{n_j^k}, \quad (7)$$

где  $m_j^k$  - число превышений каждой концентрацией из множества  $I_{jk}^{\Sigma}$  своей  $\text{ПДК}_{ccj}$ ,

$m_{\Sigma}^k$  - число превышений хотя бы одной концентрацией своей  $\text{ПДК}_{ccj}$ .

Тогда решение задачи с помощью полученной математической модели будет состоять в последовательном вычислении следующих промежуточных и конечных величин:

1. Для каждого суток за рассматриваемый период времени  $T_f$  по данным измерений на постах определяются среднесуточные значения концентраций  $C_{ji}^k, i \in I_{jk}^{\Sigma}$ .

2. По формулам (3)–(5) определяются числовые характеристики плотности случайного распределения среднесуточных концентраций:  $C_j^k, \sigma_j^k, z_{ji}^k, j = \overline{1, n}, p = \overline{1, n}, j \neq p$ .

3. По формулам (6), (6а) определяются экологические риски  $\alpha^k, \alpha_j^k$  на  $k$ -том посту.

4. Путем сравнения среднесуточных концентраций  $C_{ji}^k$  с заданными  $ПДК_{ccj}, j = \overline{1, n}$  по формуле (7) определяем частоты превышения  $ПДК_{mpj}$  каждой среднесуточной концентрацией  $\alpha_{jz}^k$  и хотя бы одной среднесуточной концентрацией  $\alpha_z^k$ .

**Выводы.** Получены математическая модель и порядок вычисления по ней с использованием данных измерений на стационарных постах экологического риска превышения среднесуточными концентрациями величин  $ПДК_{ccj}$ .

Результаты могут быть использованы в экологическом мониторинге города. Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку программы решения задачи на ЭВМ и реализацию ее с использованием данных измерений концентрацией на стационарных постах промышленных городов с высоким загрязнением воздуха.

#### Список литературы

1. Разработка стохастической математической модели загрязнения атмосферного воздуха с использованием метода статических испытаний и ее применение для оценки экологического риска / А.В. Артамонова, В.А. Долодаренко, В.В. Фалько и др. // *Екологія і природокористування*. – 2003. - №5. – с.231-236.
2. Применение методов системного анализа, аэродинамики приземного слоя и теории надежности для оценки экологического риска / А.В. Артамонова, В.А. Долодаренко, В.Ю. Каспийцева и др. // *Екологія і природокористування*. – 2003. - №6. – с.194-199.
3. Разработка математической модели оценки экологического риска по данным измерений концентраций загрязняющих веществ / Артамонова А.В., Долодаренко В.А., Полторацкая В.Н., Фалько В.В. // *Системні технології. Регіон. міжвуз. зб. наук. праць*. – Дніпропетровськ, 2007. – Вип. 5 (52). – с.112-120.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. Учебник для вузов, 6-е издание – М. : Высш. школа, 1998. – 576 с.
5. Сан Пин 2.1.6.983-00. Гигиенические требования к обеспечению качества атмосферного воздуха населенных мест.

6. Методичні рекомендації «Оцінка ризику для здоров'я населення від забруднення атмосферного повітря». Затверджено наказом МОЗ від 13 квітня 2007 р. №184.

*Рекомендовано к публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Поступила в редакцію 16.01.15*

УДК 622.813:622.76.1.012

© В.І. Кривощоков, І.М. Мацюк

## **ПЕРЕРОБКА ТА УТИЛІЗАЦІЯ БУРОВУГІЛЬНИХ ШЛАМІВ**

Разработана безотходная технология переработки буровугольного шлама и крошки с замкнутым циклом водоснабжения и получением транспортабельного готового продукта для сжигания или брикетирования с содержанием влаги 26% ... 28 %.

Розроблена безвідходна технологія переробки буровугільного шламу та крихти із замкненим циклом водопостачання й одержанням транспортабельного готового продукту для спалювання або брикетування із вмістом вологи 26% ... 28 %.

Wasteless technology of treating brown coal slurry and crumb with closed cycle of water supply and receiving transportability finished product for burning and briquetting with 26–28 moisture content has been developed.

**Вступ.** Балансові запаси вугілля в Україні складають 45 млрд тонн, у тому числі бурого – більше 8 млрд тонн. При традиційній технології брикетування бурого вугілля відходи брикетних фабрик – шлам (до 3 %) і крихта (до 15 %) не переробляються внаслідок відсутності теоретичного та експериментального обґрунтування їх утилізації. Перспективним напрямом удосконалення процесу виробництва буровугільних брикетів є розробка і впровадження безвідходної технології роздільної переробки шламу та крихти, а також замкненого циклу оборотного водопостачання брикетних фабрик, що виключить скидання за їх межі шламів і відповідно забруднення навколишнього середовища.

Проведено аналіз в області технології переробки бурого вугілля Дніпровського басейну та наведено характеристику якості цього вугілля. Розподіл бурого вугілля на землисте молоде та щільне зріле пов'язаний з впливом метаморфізму і петрографічним складом. На відміну від кам'яного вугілля, буре містить бітуми, гумінові та карбонові кислоти, володіє здібністю до пластичних деформацій.

Проблема переробки бурого вугілля полягає у відсутності технології переробки відходів брикетної фабрики (шламу і крихти) та її переведення на замкнений цикл водопостачання, що дозволить додатково отримати транспортабельний готовий продукт, значно знизити споживання чистої води і виключити забруднення навколишнього середовища.

Частка бурого вугілля в світовому виробництві електроенергії складає 4 %, але в окремих країнах вона значно більше, наприклад, у Греції – 68%, Чехії – 63 %. У Німеччині, з урахуванням новітніх технологій спалювання і

забезпечення екологічних вимог, починаючи з 2000 року буре вугілля стало найдешевшим джерелом вироблення електроенергії. Як засвідчує досвід розвинених країн світу, буре вугілля є не тільки енергетичним паливом, але і цінною сировиною для хімічної та інших галузей промисловості.

Нині проблемі утилізації відходів виробництва надається особливе значення у зв'язку з охороною навколишнього середовища і раціональною експлуатацією брикетних фабрик, що запобіжить скиданню шламових вод у кар'єр-відстійник. Тому необхідна ефективна безвідходна технологія переробки буровугільних шламів з метою їх утилізації на основі обґрунтування раціональних технологічних параметрів і відповідного обладнання.

Недоліком традиційної технології виробництва буровугільних брикетів є втрати палива у вигляді скидання шламів за межі фабрики через відсутність замкненого водно-шламового циклу.

Шламова вода брикетної фабрики (після змивання промплощадок і системи мокрого знепилювання) містить фракції, що спливла (46,96 %) та потонула (53,04 %). З концентрацією твердого 10–30 кг/м<sup>3</sup> вона важко просвітлюється, оскільки швидкість природного осадження частинок фракції, що потонула, мала [1].

**Формулювання мети роботи.** Мета роботи – розробка безвідходної технології переробки буровугільних шламів брикетних фабрик, яка забезпечує отримання просвітленої води для замкненого водопостачання та транспортабельного продукту для спалювання або брикетування із застосуванням раціонального обладнання.

Виявлення і вивчення особливостей бурого вугілля та шламу брикетних фабрик, а також дослідження поверхневих властивостей шламу для обґрунтування розділової ознаки. Визначення розділової ознаки буровугільного шламу з урахуванням його поверхневих властивостей для встановлення технологічної ефективності безреагентної флотосепарації. Дослідження кінетики осадження та вплив різних флокулянтів на ефективність процесу згущення шламу для його уловлювання та одержання оборотної води. Розробка безвідходної технології переробки буровугільних шламів з метою їх утилізації на основі обґрунтування раціональних технологічних параметрів і відповідного обладнання.

**Викладення основного матеріалу.** Як відомо, на брикетних фабриках утворюються відходи у вигляді пилу і шламу, які скидаються в золовідстійник, а також биті брикети і крихта. Встановлено, що у статичних умовах уже через 1,5 с спостерігається розділення буровугільного шламу на фракції, що спливла та потонула, а по закінченні 4 хв – чітка межа між ними.

Для проведення аналізу поверхневих властивостей фракцій, що спливла та потонула, були виготовлені брикети і за відомою методикою виміряні крайові кути змочування.

Для визначення залежності крайового кута змочування  $\theta$  від температури нагрівання (рис. 1) відбиралась проба рядового бурого вугілля, висушувалась, охолоджувалась, розділялась у воді на фракції, що спливла та

потонула, знову висушувалась і потім окремо брикетувалась ручним пресом при постійному тиску ( $P = 120$  МПа) і різній температурі нагрівання в муфельній печі з подальшим охолодженням.

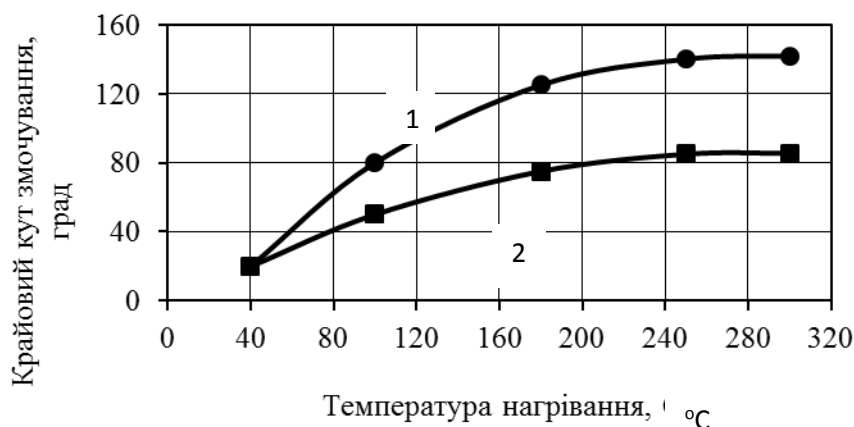


Рис. 1. Залежність крайового кута змочування від температури нагріву фракцій, що спливла (1) та потонула (2).

Як видно з рис. 1, збільшення крайового кута змочування обох фракцій пов'язане з плавленням бітумних смол, які підвищують гідрофобність, особливо фракції, що спливла, де їх вміст найбільший. Це дозволяє прийняти гідрофобність поверхні частинок, як розділову ознаку для буровугільного шламу, і виконати сепарацію шламу на фракції, що спливла та потонула.

Хімічний аналіз компонентів, що утворюють золу, і виконаний розрахунок свідчать про переважний вміст  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{SO}_3$  і  $\text{MgO}$  у фракціях, що виринула та потонула, у порівнянні з іншими оксидами, а спектральний – що обидві фракції відрізняються одна від одної кількісним вмістом таких елементів як  $\text{Ba}$ ,  $\text{Ti}$ ,  $\text{Sr}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{Zn}$  і  $\text{Pb}$ . Це дає підставу враховувати відмінність кристалічних структур даних фракцій, що впливає на їх технологічні властивості.

Фракційний аналіз фракцій буровугільного шламу, що спливла (табл. 1), проводився за такою методикою. Пробу поміщали у воду з температурою  $t=100$  оС, перемішували, охолоджували та видаляли воду, з якої вилучали бітумні компоненти. Потім пробу висушували при кімнатній температурі та фракціонували в розчині хлористого натрію із вмістом солі 1,5; 2,8; 5,0; 9,0 і 15 %. Фракційний аналіз фракції, що потонула (табл. 2), виконували в розчині хлористого цинку за стандартною методикою.

Фракції буровугільного шламу, що спливла та потонула, дещо відрізняються за крупністю (рис. 2).

Визначене необхідне обладнання для просвітлення шламових вод і згущення пульп, який оснований на визначенні швидкості переміщення межі розділення між освітленою водою та гідросумішшю твердого у мірчому циліндрі. Вивчено вплив різних флокулянтів (ПАА – поліакриламід, КАТ-FLOC 3840, КАТ F 148, КАН 20 VHM і X 99 B1) на осадження фракції буровугільного шламу, що потонула, при концентрації твердої фази 50 кг/м<sup>3</sup>.

З чого встановлено, що найефективнішим флокулянт є ПАА або КАТ-  
FLOC 3840.

Таблиця 1

Фракційний аналіз фракції буровугільного шламу, що спливла

Щільність фракції, кг/м <sup>3</sup>	Вихід $\gamma$ , %	Зольність $A^d$ , %	$\gamma_i A_i^d$	Сумарні показники, %			
				Фракція, що спливла		Фракція, що потонула	
				$\gamma$	$A^d$	$\gamma$	$A^d$
<1009	8,58	11,94	102,44	8,58	11,94	100,0	12,65
1009-1017	17,61	12,56	221,18	26,19	12,36	91,42	12,71
1017-1035	69,35	12,68	879,36	95,54	12,59	73,81	12,75
1035-1070	2,42	12,73	30,81	97,96	12,59	4,46	13,85
1070-1109	1,17	14,85	17,37	99,13	12,62	2,04	15,17
>1109	0,87	15,61	13,58	100,0	12,65	0,87	15,61
Разом	100,0	12,65	1264,74	-	-	-	-

Таблиця 2

Фракційний аналіз фракції буровугільного шламу, що потонула

Щільність фракції, кг/м <sup>3</sup>	Вихід $\gamma$ , %	Зольність $A^d$ , %	$\gamma_i A_i^d$	Сумарні показники, %			
				Фракція, що спливла		Фракція, що потонула	
				$\gamma$	$A^d$	$\gamma$	$A^d$
<1100	0,27	12,61	3,40	0,27	12,61	100,0	22,18
1100-1200	1,03	14,35	14,78	1,30	13,98	99,73	22,21
1200-1300	15,05	16,52	248,63	16,35	16,32	98,70	22,29
1300-1400	72,53	23,07	1673,27	88,88	21,83	83,65	23,33
1400-1500	9,58	24,45	234,23	98,46	22,08	11,12	25,03
1500-1600	1,04	24,83	25,82	99,50	22,11	1,54	28,62
>1600	0,50	36,52	18,26	100,0	22,18	0,50	36,52
Разом	100,0	22,18	2218,39	-	-	-	-

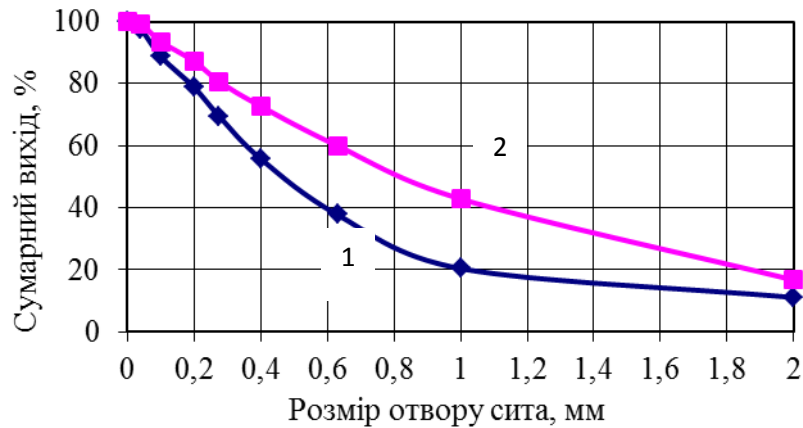


Рис. 2. Сумарна характеристика крупності буровугільного шламу фракцій, що сплила (1) та потонула (2).

З метою дослідження технологічних рішень кінетики осадження буровугільного шламу виконано багатофакторне планування експерименту та отримано математичну (регресійну) модель. На основі планування експерименту визначалася область, у якій вивчався вплив раціональних параметрів, і проводилися додаткові досліді, необхідні для ідентифікації моделей кінетики.

Встановлене рівняння регресії має такий вигляд:

$$Y = 88,5 + 2,5X_1 + 3,5X_3 - 1,5X_2 X_3,$$

де  $Y$  – вихід осаду, %;  $X_1$  – витрата реагенту поліакриламід (g), г/т;  $X_2$  – щільність пульпи (p), %;  $X_3$  – час осадження (t), хв.

На базі експериментальних даних для вузьких класів крупності встановлені коефіцієнти кінетики осадження фракції буровугільного шламу, що потонула, які визначалися за методом сплайн-регресії та відновлення емпіричної функції регресії з рівняння висоти просвітленого шару рідини:

$$H = \Delta H \exp(-kt^n),$$

де  $\Delta H = H_0 - H_t$ ;  $H_0$  – первісна висота шару суспензії, мм;  $H_t$  – висота осілого шару суспензії, мм;  $k$ ,  $n$  – коефіцієнти кінетики.

Як виявив аналіз дослідження рівняння та отриманих залежностей, вміст твердої фази знаходиться у зворотній залежності від висоти шару  $H_t$ , а коефіцієнти ( $k=0,55-0,25$  і  $n=0,08-0,66$  при  $q=20-60$  г/т) визначають форму і положення кривої кінетики.

При зміні умов протікання процесу, наприклад, технологічних факторів, ці коефіцієнти змінюються. Коефіцієнт  $k$  розкривається через технологічні параметри – розмір частинок, концентрацію твердого в суспензії, витрату реагенту та інше.

У запропонованій авторами технологічній схемі в переробку надходить шламова вода (з промділянок, території фабрики, після знепилювання



штемпельного пресу, мокрого пиловловлювання), яка сепарується на фракції, що спливла та потонула в безреагентному флотосепараторі [2]. Фракція, що потонула, шламової пульпи піддається роздільному кондиціонуванню і направляється на згущення в пластинчастий згущувач. Для інтенсифікації процесів осадження та згущення і використовуються ПАА або КАТ-FLOC 3840, витрата якого складає 40 г/т. Фракція, що спливла, видаляється в пристрій для її збору і перемішування зі згущеним шламом фракції, що потонула. Суміш шламів, що утворилася зневоднюють на віброситі і потім транспортують у бункер зневодненого шламу. Биті брикети і брикетну крихту підвергають дробленню до 3 мм і подають спершу в бункер роздробленої крихти, а потім у герметичний шнек, в який дозують шлам із бункера зневодненого шламу. Герметичним шнеком суміш шламу і крихти прямує на перемішування до транспортабельного готового продукту, який подають в бункер для відвантаження його споживачам (рис. 3).

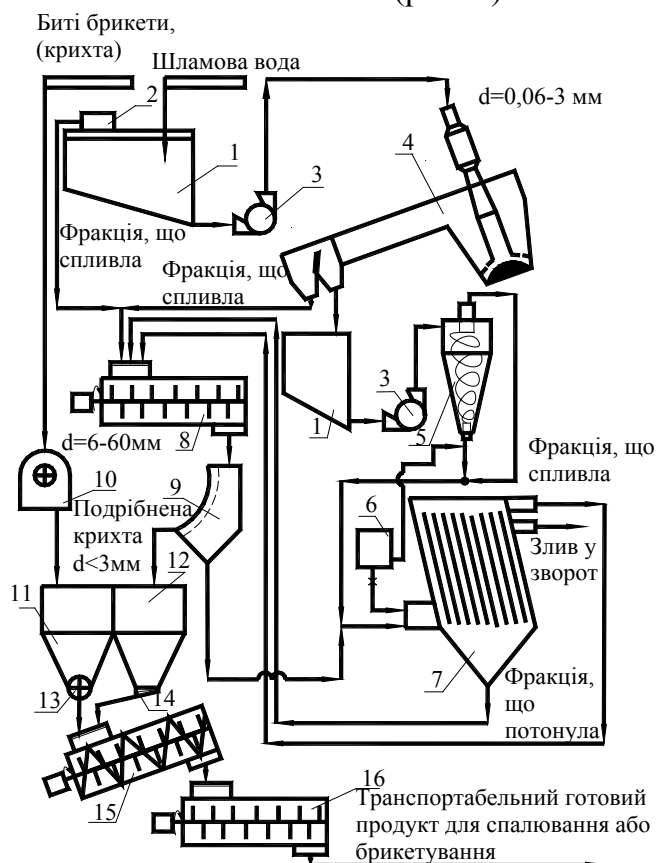


Рис. 3. Схема ланцюга апаратів по переробці відходів брикетних фабрик: 1 – бункер; 2 – реверсивний візок; 3 – насос; 4 – флотосепаратор; 5 – пристрій для роздільного кондиціонування; 6 – дозатор ПАА; 7 – пластинчастий згущувач; 8 – змішувач; 9 – вібросито; 10 – дробарка; 11, 12 – бункер; 13 – лопатевий дозатор; 14 – дозатор; 15 – герметичний шнек; 16 – змішувач.

Особливість нового безреагентного флотосепаратора (рис. 4.), який пропонується автором, для переробки шламу полягає в тому, що до звуженого жолоба, примикає флотаційна камера з аератором-ежектором [3].

За критерій оцінки роздільної здатності безреагентної флотосепарації буровугільного шламу прийнятий комплексний показник  $K$ , що враховує вплив на процес гідрофобності поверхні зерен  $K_1$ , фракційного складу

фракцій, що спливла та потонула  $K_2$ , гранулометричного складу цих фракцій  $K_3$ :

$$K \geq K_1 K_2 K_3 \geq 1,25,$$

де коефіцієнти  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  обчислюються як

$$K_1 = \Theta_1 / \Theta = 122 / 90 = 1,35;$$

$$K_2 = (\rho_1 / \rho_c) (\rho_2 / \rho_c) = (1024,94 / 1025) (1345,12 / 1025) = 1,31;$$

$$K_3 = d_1 / d_2 = 0,743 / 1,049 = 0,71;$$

$\Theta_1$  – крайовий кут змочування фракції, що спливла, град;  $\Theta$  – крайовий кут змочування, що відповідає точці інверсії ( $\cos \Theta = 0$ ,  $\Theta = 90^\circ$ ), град;  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  – середньозважена щільність фракцій, що спливла та потонула;  $\rho_c = 1025 \text{ кг/м}^3$  – щільність суспензії при щільності шламу  $1350 \text{ кг/м}^3$  та концентрації твердого  $100 \text{ кг/м}^3$ ;  $d_1$ ,  $d_2$  – середньозважена крупність зерен фракцій, що спливла та потонула, мм.

При  $K \geq 1,25$  – безреагентна флотосепарація ефективна, а при  $K < 1,25$  – ні.

Максимальна крупність частинок фракції, що спливла

$$d_{\max} = K_1 \sqrt{\frac{\sigma}{K_2 g}} K_4 = 1,35 \sqrt{\frac{72,8}{1,31 \cdot 9,81}} 0,7 = 2,25 \text{ мм},$$

де  $\sigma$  – поверхневе натягнення на межі розділу газ-рідина, мН/м;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;  $K_4$  – коефіцієнт пропорційності, що враховує вплив форми частинок та умови їх змочування ( $K_4 = 0,6-0,7$ ).

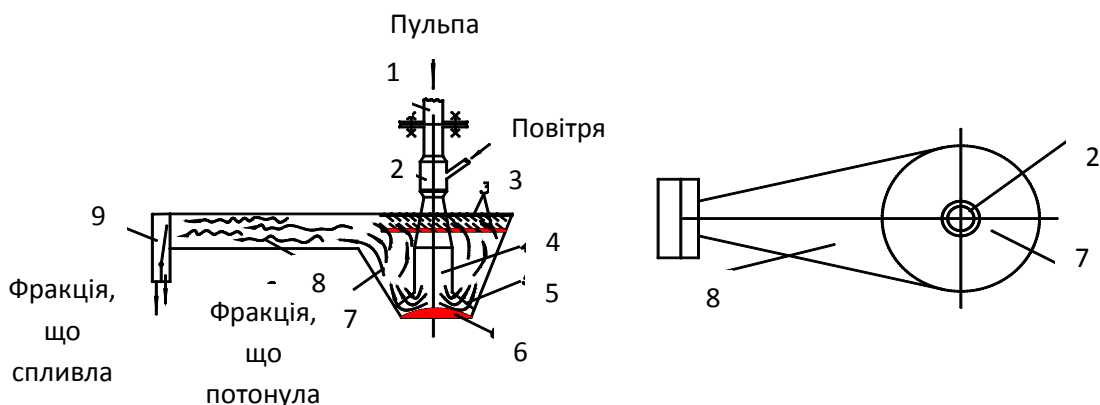


Рис. 4. Принципова схема безреагентного флотосепаратора: 1 – трубопровід; 2 – аератор-ежектор; 3, 5 – заспокійливі ґрати; 4 – трубопровід пульпоповітряної суміші; 6 – відбійна плита-розподільник; 7 – флотокамера; 8 – звужуваний жолоб; 9 – приймач продуктів сепарації з шибером.

Показники флотосепарації з погляду кінетичних закономірностей практично визначаються коефіцієнтом швидкості флотосепарації мінералу  $K_i$ , коефіцієнтом селективності розділення  $s$ , тривалістю флотосепарації  $t$ . Коефіцієнт  $K_i$ , у загальному випадку залежить від гідроаераційних

параметрів флотосепаратора, властивостей буровугільного шламу. Якщо розглядати закономірність зміни процесу в певному інтервалі часу (від  $t_1$  до  $t_2$ ), то умови флотосепарації з упевненістю можна прийняти постійними (рис. 5), хоча загальна кінетична характеристика процесу у вказаному діапазоні може змінюватися з часом.

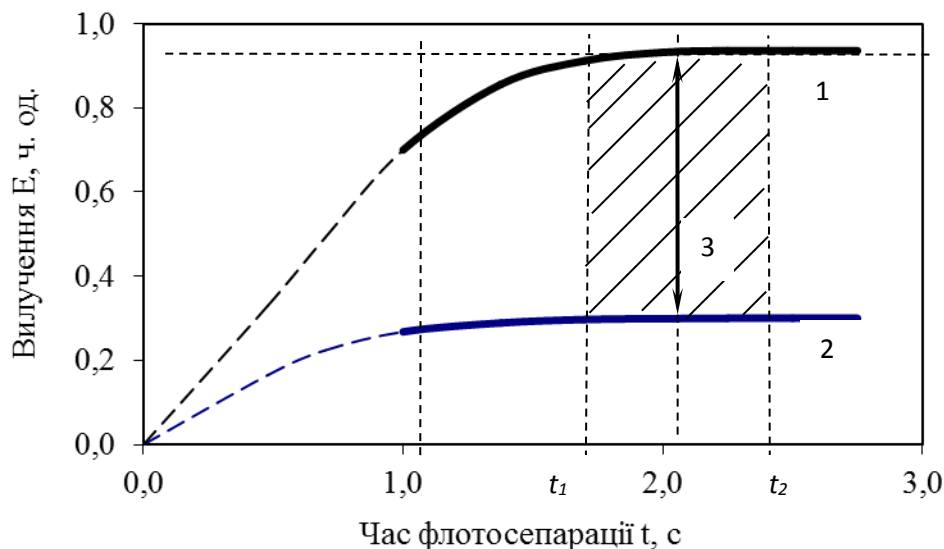


Рис. 5. Кінетика безреагентної флотосепарації: 1, 2 – часткове вилучення фракцій, що спливла та потонула в продукт, що сплив, ч. од.; 3 – ефективність флотосепарації ( $\eta = E_1 - E_2$ ).

Зміну  $E_i$  в інтервалі часу від  $t_1$  до  $t_2$  можливо з достатньою точністю апроксимувати ділянкою експоненціальної кривої з  $K_i = \text{const}$  і визначити його як  $K_i = -\ln(1 - E_i)/t$ . Тоді:

$$E_1 = 1 - e^{-k_1 t}; \quad E_2 = 1 - e^{-k_2 t},$$

де  $E_1, E_2$  – часткове вилучення фракцій, що спливла та потонула в продукт, що сплив, ч. од.;  $k_1, k_2$  – коефіцієнти швидкості флотосепарації фракцій, що спливла та потонула;  $t$  – час флотосепарації, с.

Склад і якість продукту, що сплив, визначаються вилученням з нього як частини фракції, що спливла, так і частини фракції, що потонула:

$$E_1 = 1 - e^{-k_1 t} = 1 - e^{-1,329 \cdot 2} = 1 - 0,07 = 0,93;$$

$$E_2 = 1 - e^{-k_2 t} = 1 - e^{-0,164 \cdot 2} = 1 - 0,72 = 0,28;$$

$$\eta = E_1 - E_2 = 0,93 - 0,28 = 0,65 \text{ ч. од.},$$

а коефіцієнт селективності флотосепарації буровугільного шламу (відношення показників швидкості флотосепарації в продукт фракції, що виринула та потонула), як

$$c = \ln[1/(1 - E_1)] / \ln[1/(1 - E_2)] = k_1 t / (k_2 t) = k_1 / k_2 = 8,1.$$

Роздільне кондиціонування пульпи шляхом гідроциклонування та обробки реагентами пісків гідроциклона з подальшим їх змішуванням із зливом дозволяє значно скоротити витрати реагентів. Тому технічна компоновка роздільного кондиціонування та флотосепарації – це

перспективний напрям в розвитку технології переробки вугільних шламів та інших зернистих матеріалів.

Пристрій для роздільного кондиціонування пульпи фракції, що потонула, виконан на базі гідроциклону і відрізняється, розпилювачем реагентів та перфорованим спіральним аератором. Згущений (грубозернистий) продукт і злив об'єднують у змішувачі, де відбувається перерозподіл реагенту з поверхні крупних частинок на поверхню дрібних для подальшого процесу згущення пульпи.

Перевага поличного згущувача з похилими пластинами полягає у високій продуктивності при невеликій площі, відсутності рухомих частин і приводу, а також у незначному зносі деталей та малих експлуатаційних витратах. Продуктивність такого згущувача у порівнянні зі звичайним того ж об'єму в двадцять разів більше.

Для реалізації схеми переробки відходів брикетних фабрик вибрано та обґрунтовано основне технологічне обладнання, яке може бути виготовлене в умовах фабрики.

**Висновки.** Встановлено, що після термічної обробки та пресування бурого вугілля виявляються властивості гідрофобності його поверхні. Для фракції буровугільного шламу, що спливла, величина крайового кута змочування склала  $122^\circ \dots 136^\circ$ , а що потонула  $85^\circ \dots 90^\circ$ , що свідчить про високу гідрофобність поверхні фракції, що спливла, і дозволяє прийняти крайовий кут змочування за розділову ознаку, а також здійснити безреагентну флотосепарацію цих фракцій з ефективністю до 65 % і максимальною крупністю (2,25 мм) фракції, що спливла.

Роздільна переробка фракцій буровугільного шламу, що спливла та потонула, з подальшим їх перемішуванням із подрібненими до 3 мм битими брикетами (крихтою) обумовлена поверхневими властивостями шламу. Причому до перемішування роздільному кондиціонуванню і згущенню фракції, що потонула, повинна передувати безреагентна флотосепарація.

Розроблена безвідходна технологія переробки буровугільного шламу та крихти із замкненим циклом водопостачання й одержанням транспортабельного готового продукту для спалювання або брикетування із вмістом вологи 26% ... 28 % [4].

#### Список літератури

1. Кривошеков В.И., Мацюк И.Н. Ресурсосберегающая переработка отходов бурогоугольных брикетных фабрик // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вип. 18 (59). – С.171-176.
2. Кривошеков В.И., Мацюк И.Н. Технологические свойства и утилизация отходов бурогоугольных брикетных фабрик // Уголь Украины. - 2004. -№ 10. – С. 43 - 47.
3. Кривошеков В.И., Мацюк И.Н. Безреагентная флотосепарация: метод и устройство // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип.25 (66) – 26(67). – С. 84-92.
4. Технология переработки бурогоугольных шламов: монография / В.И. Кривошеков, И.Н. Мацюк. – Д.: Национальный горный университет, 2010. – 140 с.

*Рекомендовано к публикации д.т.н. Піловим П.І.  
Поступила в редакцію 16.01.15*

## ОЦІНКА КІЛЬКІСНОГО СКЛАДУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОГО МІСТА ТА ВИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ ПОВОДЖЕННЯ З НИМИ

Виконана оцінка кількісного складу та основного обладнання для поводження з побутовими відходами м. Дніпродзержинська, наведено заходи для удосконалення системи управління ними.

Выполнена оценка количественного состава и основного оборудования для обращения с бытовыми отходами г. Днепропетровска, предложены мероприятия для усовершенствования системы управления ими.

The executed estimation of quantitative composition and basic equipment is for handling domestic wastes of Dniprodzerzhynsk, events over are brought for improve of control system by them.

**Вступ.** В процесі розвитку суспільства в Україні усе більшого значення набувають питання екологічної безпеки і, відповідно, питання знешкодження шкідливих відходів – продуктів людської діяльності. Швидко зростає загальний обсяг сміття. Постійно зростають питомі обсяги утворення твердих побутових відходів (ТПВ): за останні десять років їх кількість, що припадає на одну людину, підвищилась майже на 75% і сьогодні складає в середньому 300-400 кг за рік. Наприклад, за 2010 рік їх утворилося близько 50 млн. м<sup>3</sup>, що дорівнює близько 11 млн. тонн, які захоронюють на 4,5 тис. сміттєзвалищах і полігонах загальною площею понад 8 тис. га. Кількість сміттєзвалищ, які перевантажені, складають 7% , а 20% не відповідають нормам екологічної безпеки [1].

Отже, проблема управління та поводження з відходами в Україні на сьогодні стає дуже проблемною і потребує негайних рішень.

**Постановка задачі.** Останнім часом змінився морфологічний склад побутових відходів. Якщо раніше найбільш вагомою складовою були харчові відходи, то нині на 50 відсотків вони складаються з використаної упаковки, здебільшого полімерної та комбінованої, більшість яких не піддаються процесам біологічного розкладання і можуть багато років знаходитися у ґрунті. Широке застосування електричного та електронного обладнання, технологічні нововведення у цій галузі зумовлюють швидкість його заміни, що призводить до потрапляння на захоронення або спалювання важких металів, речовин, які вміщують галогени, азбест тощо. Не меншу загрозу навколишньому середовищу та здоров'ю людини становлять специфічні відходи лікувально-профілактичних установ, які потрапляють у контейнери побутових відходів та можуть стати джерелом різних інфекцій. У сучасному побуті зростає кількість гальванічних елементів, акумуляторів, речовин побутової хімії, лаків, фарб тощо, їх складування на звалищах і полігонах значно підвищує ризик забруднення атмосфери, водних ресурсів,

грунту токсичними аліфатичними, ароматичними та хлорорганічними речовинами, сполуками важких металів та ін.

Практично всюди відсутні системи знешкодження фільтрату, що збільшує техногенну небезпеку цих об'єктів. На сміттєзвалищах не здійснюються заходи щодо вилучення та утилізації біогазу, чим, зокрема, порушуються закріплені Кіотським протоколом кількісні зобов'язання розвинутих країн і країн з перехідною економікою, включаючи Україну, з обмеження і зниження надходження парникових газів у атмосферу.

В цілому такі ж проблеми з ТПВ і у місті Дніпродзержинську. Об'єкт даного дослідження – побутове сміття та правила поводження з ним. Мета – підготовка даних для розробки та удосконалення системи управління і поводження з відходами. Задача - виконати аналіз та розрахувати накопичення ТПВ на прикладі адміністративного фонду м. Дніпродзержинська і надати рекомендації по удосконаленню діючої системи управління та поводження з ними.

**Результати роботи.** Виконано аналіз діючої системи управління та поводження з відходами в місті. Встановлено, що головною структурою міської системи поводження з ТПВ є комунальне автотранспортне підприємство (КАТП-042802). Це підприємство виконує такі основні види робіт: прийом, складування та ізоляцію ТПВ, для чого повинне мати у своєму розпорядженні належне обладнання для вивозу відходів, відповідно обладнаний полігон для складування та захоронення відходів і належний кадровий склад. На жаль, всі ці питання вирішуються далеко не в повному обсязі.

Діюче на сьогодні міське звалище сміття розташоване в безпосередній близькості від житлового масиву селища Будівників і не відповідає елементарним екологічним вимогам ( рис.1).



Рис. 1. Сміттєзвалище міста Дніпродзержинська

Середньорічний обсяг відходів, що поступають, перевищує 217 тис м<sup>3</sup>. Технологія складування ТПВ недосконала: сміття планується, ущільнюється

без попереднього сортування, аналіз ґрунтових вод не проводиться, метан, що утворюється, не вловлюється через відсутність свердловин, фільтрати не відводяться на очищення. На звалищі відсутнє штучне освітлення, питна вода. Технологічне устаткування представлено одним бульдозером та одним поливом - мийним автомобілем, що використовується для гасіння вогнищ самозаймання відходів. Зношеність рухомого складу, борги житлово-комунальних підприємств, різке підвищення ціни на паливо та газ негативно впливають на роботу діючої системи збору та вивозу ТПВ і на санітарний стан міста в цілому. Для забезпечення подальшої роботи щодо санітарного очищення міста, недопущення утворення на його території стихійних сміттєзвалищ необхідно надати фінансову допомогу підприємству, яке забезпечує щоденне вивезення ТПВ. Необхідно замінити стару техніку на нову, встановлювати норми накопичення відходів не на п'ять років, а на коротший термін, надати кошти на дезинфекцію контейнерів, сміттєвозів, ввести систему штрафних санкцій за створення стихійних звалищ і, як наслідок, забруднення навколишнього середовища (рис.2).



Рис. 2. Контейнер зі сміттям на адміністративній території

На сьогоднішній день збирання ТПВ у м. Дніпродзержинськ здійснюється за унітарною системою, тобто побутові відходи не сортуються за компонентами, а збираються в загальні контейнери для сміття. Видалення відходів проводиться за планово-регулярною системою очищення, яка полягає у вивезенні відходів міським спеціалізованим транспортом у визначений час за спеціально розробленими графіками, залежно від кількості накопичених відходів. Крім того, не вирішено в місті питання збирання габаритних відходів – старих меблів, побутової техніки, а також будівельного сміття, що утворюється під час ремонту та при реконструкції житлових та нежитлових приміщень.

Необхідно розробити програму фінансування для проведення ефективних заходів щодо забезпечення нормального санітарного стану Дніпродзержинська та організації безперебійної роботи діючої системи, яка

здійснює експлуатацію міського сміттєзвалища та вивозить ТПВ з території міста, а також для поліпшення якості послуг щодо санітарного очищення з одночасним зниженням нераціональних витрат при вивезенні ТПВ.

Нами виконано кількісний аналіз накопичення відходів на прикладі суспільно - адміністративного фонду м. Дніпродзержинська і за одержаними результатами розроблені рекомендації для удосконалення системи управління та поводження з ТПВ у місті.

Для розрахунку накопичення ТПВ в житловому фонді та в організаціях суспільного призначення застосовують норми згідно [2] та КТМ 204 України 012 – 95 , тобто це кількість відходів, що утворюється на розрахункову одиницю (людина для житлового фонду; одне місце в готелі; 1 койко - місце в лікарні; 1 м<sup>2</sup> торгової площі для магазинів і складів і т.д.) В норму накопичення від населення відносяться відходи, які утворюються в житлових і суспільних будівлях, в тому числі від поточного ремонту приміщень, опалювальних пристроїв, крупні предмети домашнього побуту. Основні джерела ТПВ - це підприємства громадського харчування, учбові установи, готелі, дитячі садки, ринки та т. ін.

Нанорми накопичення і склад ТПВ впливають: ступінь впорядкування житлового фонду (наявність водопроводу, каналізації, газу, сміттєпроводів, системи опалювання), поверховість, розвиток громадського харчування, культура торгівлі, ступінь добробуту населення, кліматичні умови (різна тривалість опалювального сезону), споживання овочів і фруктів.

На протязі року нами була зібрана інформація щодо об'єктів суспільно-адміністративного призначення міста, які були використані для розрахунку кількості ТПВ, необхідного числа контейнерів та сміттєвозів для санітарного очищення територій різних організацій. В даній роботі представлені окремі організації, так як охопити та проаналізували всі об'єкти міста проблематично, враховуючи, що кількість організацій, наприклад в сфері торгівлі та приватних підприємств, з кожним днем збільшується. Зокрема, проаналізовані такі об'єкти, як адміністративні та громадські установи, організації, дитячі дошкільні установи, учбові заклади, серед яких вищі навчальні заклади, школи, інтернати, технікуми, профтехучилища, позашкільні установи, дитячі будинки, лікувально - профілактичні установи.

В цілому проаналізовано 16 адміністративних та громадських установ і організацій, дитячих дошкільних установ - 38, учбових закладів -56, позашкільних установ -12, дитячих будинків -2, лікувально - профілактичних установ -24.

Слід звернути увагу на медичні відходи, які утворюються в лікарнях, поліклініках, диспансерах, пунктах переливання крові, науково-дослідних інститутах й учбових закладах медичного профілю, аптеках, фармацевтичних виробництвах, оздоровчих установах. Проблема поводження з ними у Дніпродзержинську надзвичайно актуальна. Ці відходи розглядаються і оцінюються як чинник не тільки прямого, але і опосередкованого ризику виникнення інфекційних і неінфекційних захворювань серед населення через можливе забруднення води, ґрунту, повітря, продуктів харчування,



внутрішньо - лікарняного середовища. На жаль, в нашій державі ще не існує організованої системи збору і видалення медичних відходів. Як правило, вони повинні дезінфікуватися та відправлятися на переробку вторинних матеріалів (утилізацію).

Визначено кількісний склад ТПВ, що утворюються в окремих об'єктах суспільно - адміністративного фонду міста з врахуванням встановлених середньодобового та середньорічного накопичення відходів [ 2,3]. Наприклад, в металургійному, індустріальному, комерційному, енергетичному технікумах ( в середньому кількість учнів понад 3450) утворюється щодоби 1380 кг відходів; в міських лікарнях № 3,6,7,9 та поліклініках ( кількість відвідувань та койко - місць для стаціонарних хворих налічує 1170) ця величина складає понад 1200 кг; в дошкільних навчальних закладах № 1 - 4,10 ( кількість учнів складає 174) - 205 кг.

Для розрахунку накопичення ТПВ в позашкільних установах, школах, учбових закладах приймаємо 275 діб на рік у зв'язку з літніми канікулами, а у лікарнях, організаціях, дошкільних навчальних закладах, школах - інтернатах та в дитячих будинках – 365 діб на рік.

Досить велике накопичення відходів відбувається в лікарнях. Наприклад, шосту міську лікарню та поліклініку за місяць відвідують 20000 пацієнтів, а сімейну – 350, тому в ній менше утворюється ТПВ. В дев'ятій лікарні велике накопичення сміття пояснюється наявністю понад 500 лікарняних місць для стаціонарного лікування хворих. В дитячих дошкільних установах, школах менше накопичення сміття, тому що в основному викидається папір, пакувальні матеріали та картон. Для вивозу з цих організацій ТПВ достатньо однієї ходки сміттєвозу на тиждень.

Аналогічні розрахунки використовуються для укрупненої оцінки під час проектування схем санітарної очистки, об'єктів для знешкодження та утилізації побутових відходів, у процесі визначення необхідної кількості машин та механізмів, обслуговуючого персоналу, планування робіт та витрат на очистку території міста.

Нами визначена необхідна кількість обладнання для збору, вилучення та вивозу ТПВ. Основними тут є: система «змінюваних» і «незмінюваних» збірників - контейнерів. Вибір тієї або іншої системи визначається відстанню місць завантаження сміттєвозів від сміттєзвалища, типом і кількістю сміттєвозів, санітарно-епідеміологічними умовами; можливістю санобробки контейнерів безпосередньо в домоволодіннях та т. ін. В Дніпродзержинську застосовується незмінювана система контейнерів місткістю 0,75, 0,6 і 0,55 м<sup>3</sup>, для вивезення ТПВ застосовується модель сміттєвозів КО-413 із пристроєм, що ущільнює сміття, й стрілою для підйому контейнерів. Використання такого сміттєвозу ефективно при транспортуванні на відстань до 30 км. При більшій відстані можна використовувати сміттєвоз моделі КО - 415. Необхідне списочне число контейнерів при незмінюваній системі визначаємо за формулою [3]:

$$n_H = \frac{Q_c \cdot K \cdot K_1 \cdot P}{g \cdot K_2}, \quad (1)$$

де  $Q_c$  - середньодобове накопичення ТПВ, м<sup>3</sup>/добу;  $K$  - коефіцієнт нерівномірності накопичення ТПВ ( $K = 1,25$ );  $K_1$  - коефіцієнт, що враховує кількість контейнерів у ремонті й резерві ( $K_1 = 1,05$ );  $P$  - періодичність вивезення відходів, діб;  $g$  - місткість одного контейнера;  $K_2$  - коефіцієнт заповнення контейнера ( $K_2 = 0,9$ ).

Одержані дані по визначенню необхідного числа контейнерів для вивозу ТПВ від окремих об'єктів суспільно - адміністративного фонду наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Кількість необхідного списочного числа контейнерів та сміттевозів для вивозу сміття з окремих об'єктів міста

Об'єкт	Кількість контейнерів, шт.	Періодичність вивозу ТПВ ( разів на тиждень )	Кількість сміттевозів (шт. на тиждень )
1	2	3	4
7-ма міська лікарня, поліклініка	8	2	0,1
9-а міська лікарня	5	2	0,1
Індустріальний технікум	4	1	0,2
Дніпродзержинське професійно-технічне училище № 15	7	2	0,1
СШ № 3	0,6	1	0,02
Технічний ліцей № 1	0,2	1	0,008
Дошкільні навчальні заклади № 2,3	0,31	2	0,19
Дитячий екологічний центр (ДЕЦ), будинок творчості дітей та юнацтва	2,6	2	0,13
Дитячий будинок, інтернат № 2	2,4	2	0,1
ЗО НВК «ОрАвнер»	0,4	1	0,02
Спеціальна загальноосвітня школа для розумово відсталих дітей	1	1	0,04
Державна податкова інспекція	3	4	0,02
Дніпродзержинське бюро технічної інвентаризації	0,1	1	0,006
Заводський територіальний центр соціального обслуговування пенсіонерів	0,1	1	0,007

Щодобову потребу в сміттевозах для вивозу ТПВ визначаємо як:

$$N = \frac{Q_c \cdot 5}{B \cdot k}, \quad (2)$$

де  $5$  – кількість учбових чи робочих днів у неділю;  $Q_c$  – обсяг відходів, що підлягають вивозу,  $m^3$  /добу;  $V$  - продуктивність однієї машини,  $m^3$ /добу;  $k$  – коефіцієнт використання транспорту (приймається по нормативам, затвердженим для автогосподарств, у межах 0,7- 0,9).

Добову продуктивність автомашин визначаємо за формулою:

$$V = b * n , \quad (3)$$

де  $b$  - кількість відходів, перевезених сміттєвозом за один рейс,  $m^3$  ;  $n$  - кількість рейсів, що виконується за один робочий день, фактично приймаємо середню кількість рейсів - 6. Для даного типу сміттєвозу обсяг відходів, що вивозяться за один рейс при повному завантаженні, приймаємо  $12 m^3$ .

Як приклад, в таблиці 1 наведено одержані дані по визначенню необхідної потреби в сміттєвозах для вивозу сміття 1 раз на тиждень одночасно з 5 або 6 точок поруч розташованих окремих об'єктів. Всі сміттєвози, які знаходяться в експлуатації комунального автотранспортного підприємства, практично забезпечують перевезення ТПВ з міста Дніпродзержинська.

Для ефективної роботи сміттєвозів контейнери повинні встановлюватися на відповідно обладнаних майданчиках з рівним асфальтованим або бетонним покриттям з ухилом у бік проїжджої частини 0,02%, забезпечені по периметру зеленими насадженнями з декоративних чагарників або іншими огородженнями (цегляними, сітчастими, бетонними), віддалені від житлових будинків, дитячих закладів, місць відпочинку населення на відстань не менше 20м і не більше 100 м. Санобробку контейнерів при незмінюваній системі збору і вилучення ТПВ згідно правил санепідемстанції повинні здійснювати не менше одного разу в 10-15 діб житлово-експлуатаційними організаціями. Але, нажаль, це не робиться. Сортування компонентів ТПВ для наступної утилізації, як правило, необхідно проводити в місцях збору або на станціях перевантаження. В Дніпродзержинську ця робота поки що практично не ведеться.

За результатами виконаних дослідів нами пропонується ряд заходів для удосконалення управління та поводження з ТПВ в місті.

Для дитячих дошкільних установ, учбових закладів, адміністративних та громадських установ, організацій пропонується розташовувати контейнери для роздільного збору паперу, пластмас, скла та металів (приблизно два контейнери): 1 контейнер для паперу та картону, а другий - для пластмаси, скла та металів. Графік вивезення відходів з таких контейнерів має бути не рідше ніж 3-4 рази на місяць, або приблизно 1 раз на тиждень. Для того, щоб сміття не накопичувалось на майданчику біля контейнерів, як на багатьох об'єктах м. Дніпродзержинська (рис. 2), необхідно, щоб міська влада організувала роботи для благоустрою біля установ. Вона повинна не тільки організувати роботи по благоустрою міста, але й зобов'язати організації, приватні підприємства придбати більш сучасні контейнери, які виконані з поліетилену, з плоскою покрівлею та на колесах. Стандартними кольорами є зелений, сірий, синій. Вони зручні тим, що їх покрівля не дає

розповсюджуватися сміття по навколишній території, а завдяки колесам їх зручно переміщати.

**Висновки.** Розглянуто проблему утворення ТПВ, які необхідно збирати, знешкоджувати, утилізувати з метою покращення якості міського середовища. Показано, що несвоєчасне вилучення ТПВ погіршує санітарний стан населених пунктів і може стати причиною виникнення захворювань та епідемій.

Визначено кількісний склад ТБО та необхідного обладнання для поводження з ними на прикладі окремих об'єктів суспільно - адміністративного призначення, а саме дошкільних навчальних закладів, лікувально-профілактичних установ, учбових закладів, позашкільних установ, дитячих будинків, організацій.

Для розв'язання основних проблем, удосконалення системи управління та поводження з ТПВ запропоновано комплекс заходів з поетапної рекультивації існуючого сміттєзвалища та відповідного обладнання контейнерних майданчиків; вдосконалення системи тарифів за вивіз та захоронення ТПВ відповідно до чинного законодавства; локалізації, збору та очистки фільтрату; будівництва сміттесортувального комплексу для переробки ТПВ; запровадження системи роздільного збирання відходів в містах їх утворення; ліквідації несанкціонованих звалищ та санації відповідних територій; відновлення роботи свердловин для контролю забруднення підземних вод; запровадження інформаційно - навчальних заходів та т. ін.

#### Список літератури

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 р.- К: Центр екологічної освіти та інформації, 2011.- 254 с.
2. Стольберг Ф.В. Экология города / Учебник.- К.: Либра, 2000. – 464 с.
3. Мирный А.Н. Санитарная очистка и уборка населенных мест: Справочник.- М.: Стройиздат, 1990.- 412 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 18.01.15.*

УДК 681.3:004.8:622.867

© В.В. Слесарев, А.В. Миргородский  
**МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АЭРОГАЗОВОЙ  
СИТУАЦИИ НА ШАХТАХ**

В статье представлены методы разработки моделей и алгоритмов, позволяющих с достаточной степенью достоверности объективно оценить аэрогазовую ситуацию с учетом анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы и нестационарного характера их изменения во времени, выработать и выполнить превентивные мероприятия, направленные на недопущение аварий на шахтах или снижение их последствий.

У статті представлені методи розробки моделей і алгоритмів, що дозволяють з достатньою мірою достовірності об'єктивно оцінити аерогазову ситуацію з урахуванням аналізу і прогнозу значень параметрів шахтної атмосфери і нестационарного характеру їх зміни в часі, виробити і виконати превентивні заходи, спрямовані на недопущення аварій на шахтах або зниження їх наслідків.

The methods of development of models and algorithms, allowing with the sufficient degree of authenticity objectively to estimate an aerogas situation with view of analysis and prognosis of values of parameters of mine atmosphere and non-stationary format of their time-history, are presented in the article, to produce and execute the preventive events sent to non-admission of accidents on mines or decline of their consequences.

**Введение.** Большое количество аварийных происшествий, возникающих в результате несвоевременного выявления (идентификации) негативной тенденции развития обстановки в шахте, особенно аэрогазовой, говорит о несоответствии уровня безопасности при добыче угля требованиям современности. Заблаговременное распознавание возможности возникновения аварийной ситуации по-прежнему остается за горным диспетчером, который на основе субъективного анализа большого количества информации не всегда может её выявить. Введение объективных оценок аэрогазовой ситуации повысит уровень производственной безопасности на горнодобывающем предприятии. Для этого необходимо постоянно производить анализ и прогноз значений контролируемых параметров шахтной атмосферы. [1,2] На их основе осуществлять идентификацию аэрогазовой ситуации в шахте, что позволит выявить аварийную ситуацию на стадии ее развития и выполнить действия, направленные на предотвращение или снижение последствий аварий.

**Формулировка цели и задачи исследования.** Целью работы является создание комплексного подхода к оценке аэрогазовой ситуации в шахте на основе анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы с учетом нестационарного характера их изменения во времени для использования в информационно-аналитической системе безопасности. Задача научных исследований заключается в разработке моделей и алгоритмов, позволяющих с достаточной степенью достоверности объективно оценить аэрогазовую ситуацию с учетом анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы, выработать и выполнить превентивные мероприятия, направленные на недопущение аварий или снижение их последствий, актуальна.

**Изложение основного материала исследований.** Как было доказано в работе [1] эволюцию физической системы с потерями необходимо описывать уравнениями в дробных производных. Дробный показатель производной указывает на долю состояний системы, сохраняющихся за время эволюции (фрактальную размерность процесса эволюции). Эти перемежающиеся состояния системы оказывают влияние на последующие состояния системы. Такие системы классифицируются как системы с «остаточной» памятью, занимающие промежуточное положение между системами, обладающими полной памятью (детерминированные), с одной стороны, и «марковскими»

системами, с другой. Таким образом, дискретный процесс (с перемежающимися состояниями) изменения параметра на этапе от 0 до  $t$  описывается дробной производной Лиувилля степени  $\alpha$  в виде интеграла:

$$\frac{\partial^\alpha}{\partial t^\alpha} f(t) = \frac{1}{\tilde{\Gamma}(1-\alpha)} \frac{\partial}{\partial t} \int_0^t (t-\tau)^{-\alpha} f(\tau) d\tau, \quad (1)$$

где  $\tilde{\Gamma}(1-\alpha)$  – гамма-функция.

На сегодняшний день реакция на неблагоприятную ситуацию происходит "по сигналу", то есть, изменяется оценка ситуации в шахте только после того, как произошло превышение параметрами шахтной атмосферы ПДК. После этого вводится в действие план ликвидации аварии (ПДК). Проводятся мероприятия для ликвидации аварийного происшествия. Такой подход не позволяет выявить возможность возникновения аварийного происшествия заблаговременно и предпринять действия, направленные на его предотвращение или снижение негативных последствий. При непрерывном мониторинге параметров шахтной атмосферы, возникает возможность диагностирования и оценки ситуации в шахте, прогнозирование значений аэрогазовых параметров. Тогда, если возможность возникновения аварийного происшествия выявлена, появляется время для выработки и выполнения мероприятий, направленных на его недопущение или снижение последствий от аварии (предотвращение травматизма и гибели шахтеров, выведение из строя оборудования, убытков от простоев и т.д.). Следовательно, необходимо разработать подход, позволяющий непрерывно оценивать аэрогазовую ситуацию и корректировать её оценку на основе прогноза и анализа аэрогазовых параметров с возможностью выработки перечня превентивных мероприятий, направленных на ослабление и предотвращение негативной тенденции. Аэрогазовую ситуацию в шахте можно описать матрицей размерностью  $n \times m$ , где  $n$  – количество точек контроля;  $m$  – число аэрогазовых параметров (см табл.).

Таблица  
Контролируемые параметры шахтной атмосферы

Наименование параметра	Единица измерения	Диапазон измерения
Метан ( $CH_4$ )	%	0-2
Углекислый газ ( $CO_2$ )	%	0-7,5
Оксид углерода ( $CO$ )	%	0-0,0017
Сероводород ( $H_2S$ )	%	0-0,00070
Запылённость	$\dot{a} / \dot{v}^3$	1-6
Скорость воздушного потока	$\dot{v} / \dot{n}$	2-7
Температура	$^{\circ}\tilde{N}$	15-45

Из-за большого объема информации сложно субъективно оценивать аэрогазовую ситуацию на отдельных участках, а без верной оценки затруднительно принять правильное решение. Следовательно, необходимо создать механизм, вырабатывающий объективную оценку аэрогазовой ситуации. А для этого нужна классификация, описывающая переходной процесс развития аэрогазовой ситуации. Существующая на настоящий момент классификация ситуаций на подземных участках в шахте описывает только начальные и конечные фазы развития аварийной ситуации. Проведенный в работе анализ развития аварийных ситуаций в шахте показал, что постепенно происходит накопление негативных факторов, которые со временем ведут к возникновению аварии. На рис.1 отображена схема вентиляции шахты «Терновская» с нанесёнными датчиками контроля концентрации метана и скорости воздуха.

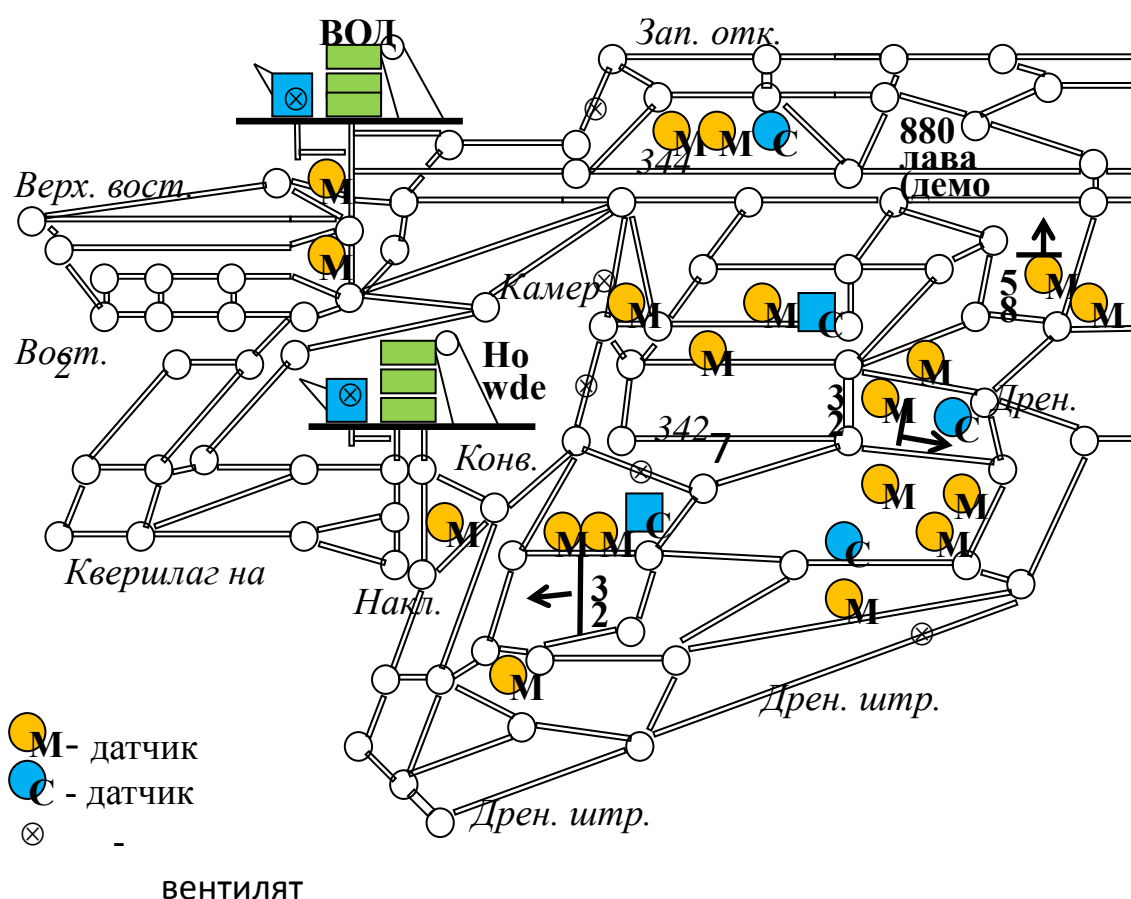


Рис. 1. Упрощённая схема вентиляции шахты «Терновская»

Для того, чтобы учесть эффект накопления неблагоприятных тенденций, разработана классификация ситуаций в шахте, отличающаяся дополнительными градациями, которые позволяют выявить переход от штатной ситуации к аварийной. Стохастический характер процесса изменения параметров шахтной атмосферы, например, концентрации метана или запыленности, объясняется многими факторами, в основном геологическими особенностями угольного пласта, вмещающих пород, режимом работы выемочного комплекса. Производимое орошение приводит

к оседанию пыли в выработках. В периоды подачи выемочной машины отбиваемый уголь и обнажаемый пласт интенсивно выделяют метан, который подхватывается вентиляционной струей. Выделение метана происходит в зависимости от концентрации его в пласте и массиве, сорбционных свойств угля, однако непредсказуемыми являются моменты остановки и пуска выемочного агрегата и флуктуации интенсивности выделения метана. Кроме этого, при посадке кровли происходит обильное выделение метана, что делает процесс выделение метана случайным. В местах проведения взрывных работ интенсивно происходит выделение вредных оксидов: сероводород образуется при взрывных работах, горении огнепроводного шнура; концентрация углекислого газа и оксида углерода повышается вследствие взрывных работ, при возникновении очагов пожара, работы двигателей внутреннего сгорания на рудниках, де сорбированного выделения газов из горных пород. Опрос датчиков, контролирующих параметры шахтной атмосферы, происходит в фиксированные промежутки времени. Поэтому измерение, например, концентрации метана в точке контроля, можно рассматривать как временной ряд значений контролируемого параметра  $x_i$ , которые можно представить в виде динамической системы, зависящей от предшествующих наблюдений  $x_{i-1}, \dots, x_{i-n}$  с некоторым шумом  $\xi_i, \dots, \xi_{i-k}$ ;  $x_i = F(x_{i-1}, \dots, x_{i-k}; \xi_i, \dots, \xi_{i-k})$ .

Прогнозирование значений концентрации метана и расхода воздуха в стационарном режиме при расчете параметров вентиляции в шахте в настоящее время выполняется посредством уравнения авторегрессии:

$$x[n+1] = \sum_{i=1}^p \alpha_i x[n+1-i]$$

с использованием F- критерия.

Однако в задачах оценки и прогнозирования нештатных ситуаций в шахте этот подход не позволяет учитывать не стационарность процесса изменения аэрогазовых параметров, особенно в критических ситуациях. Степень участия «историю» в последующих значениях в процессе изменения аэрогазовых параметров не учитывают. Таким образом, для оценки аэрогазовой ситуации на участках с учетом прогнозных значений аэрогазовых параметров необходимо:

- определить характеристики (энтропия, временной интервал, дробная размерность) процесса изменения параметра аэрогазовой атмосферы;
- идентифицировать процесс изменения аэрогазового параметра (стационарный, нестационарный);
- для нестационарного процесса:
- провести многократную генерацию прогнозных траекторий изменения параметра;
- определить оценку вероятности превышения аэрогазовым параметром ПДК;
- для стационарного процесса:



- вычисление прогнозных значений производится с помощью авторегрессионной модели.

Для определения характера процесса изменения аэрогазового параметра разработана математическая модель на основе методов [2,3].

По этому методу производятся вычисления корреляционной размерности для временных рядов определения характеристики динамического процесса изменения аэрогазового параметра, учитывающая нестационарные свойства его изменения. В этой работе на основе корреляционного интеграла вычисляются: энтропия Колмогорова  $K$ , корреляционная размерность  $D_2$ , длина выборки  $m$ , характеризующие динамический процесс изменения аэрогазового параметра шахтной атмосферы. Корреляционный интеграл - вероятность того, что две точки во временном ряду разделены расстоянием меньшим  $\varepsilon$ :

$$C(\varepsilon) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N^2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \theta(\varepsilon - |x_i - x_j|), \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{где - } \theta(x) = \frac{0, x < 0,}{1, x \geq 0} \text{ - функция Хэвисайда;} \end{array} \right.$$

$\varepsilon$  – пороговое расстояние;  $N$  - число векторов в наборе;

$$D_2 = \lim_{\varepsilon \rightarrow \infty} \frac{\ln(C(\varepsilon))}{\ln \varepsilon}. \quad (3)$$

Для идентификации процесса изменения параметра шахтной атмосферы как стационарного или нестационарного используется соотношение:

$$\log C_q \cong D_q \log \varepsilon - K_q \omega + const, \varepsilon \rightarrow 0, m \rightarrow \infty, \quad (4)$$

где  $D$  – информационная размерность наблюдаемой выборки, вычисляется из соотношения:

$$\log C(\varepsilon) \cong -D_2 \log(\varepsilon) + const; \quad (5)$$

$\omega = (m-1)\tau$  – окно реконструкции;

$\tau$  – временной интервал (быстродействие датчика).

Тогда, для энтропии Колмогорова  $K$  и размерности выборки  $m$  справедливо соотношение:

$$C(\varepsilon, \omega) \propto \varepsilon^{D_2} \exp(-K_2 \omega). \quad (6)$$

Идентификация процесса изменения параметра шахтной атмосферы осуществляется с помощью разработанного алгоритма.

Вариацией масштаба  $\varepsilon$  определяется зависимость корреляционного интеграла от него. Для этого строится линейная аппроксимация  $C_2 = a^\tau s + b^\tau$  для фиксированного значения размерности выборки  $m$ . Значения угла наклона  $a^\tau$  прямой сравниваются для различных значений выборки  $m$ . Изменение угла наклона в зависимости от размерности выборки  $m$  свидетельствует о хаотичности поведения временного ряда и, следовательно, наблюдаемый процесс является стационарным. Тогда, прогноз параметра

шахтной атмосферы необходимо делать на основе авторегрессионных моделей. В том случае, если изменение угла наклона не наблюдается, что свидетельствует о наличии нелинейной зависимости следующего значения от предыдущих показаний (значит процесс нестационарный). Прогноз необходимо производить с учетом характеристик наблюдаемого процесса изменения параметра. [3,4] Они находятся следующим образом: по параметру масштаба  $s$  определяется размерность выборки  $m$ , для которой энтропия Колмогорова  $K$  становится стационарной. В этом случае:

$$K_2 = a^k s - b^k, \quad a^k \rightarrow 0.$$

Для вычисления прогнозной оценки вероятности превышения аэрогазовым параметром предельно допустимого значения разработана математическая модель генерации прогнозной траектории его изменения, учитывающая предысторию и нестационарный характер поведения аэрогазовых параметров. Она основывается на механизме фрактального броуновского движения, позволяющего учесть нестационарные свойства процесса изменения аэрогазового параметра:

$$B_H(t) = \frac{1}{\tilde{\Gamma}(H+1/2)} \int_{-\infty}^t h(t-\tau) dB(\tau), \quad (7)$$

где  $dB(\tau)$  – приращение винеровского процесса;  $\tilde{\Gamma}(\square)$  – гамма-функция;  $H$  – информационная размерность Харста;

$$h(t-\tau) = \frac{(t-\tau)^{H-1/2}, 0 \leq \tau \leq t;}{(t-\tau)^{H-1/2} - (-\tau)^{H-1/2}, \tau < 0.} - \text{импульсная переходная}$$

функция, которая определяет характеристики коррелированной зависимости процесса  $B_H(t)$  от предшествующих его значений, а также указывает на самоподобный характер фрактального броуновского движения. При реализации фрактального броуновского движения для фрактальной размерности временного ряда  $H > 1/2$  скорее всего последующее приращение параметра имеет тот же знак, что и предыдущее, то есть значение параметра будет возрастать в будущем, если оно возросло в прошлом. Если же параметр  $H < 1/2$  размерности, то приращение параметра скорее всего имеет различные знаки, а значит значение параметра будет убывать в будущем, если оно возросло в прошлом. Таким образом, оптимальный в среднеквадратическом смысле прогноз фрактального броуновского движения  $\hat{B}_H(t_{n+k})$  описывается следующим соотношением:

$$\hat{B}_H(t_{n+k}) = \frac{1}{2m} \sum_{j=n-m+1}^n [1 + S_{j,n+k}^{2H} - |S_{j,n+k} - 1|^{2H}] B_H(t_{n-j+1}) + B(t), \quad -1 < m < n, \quad (8)$$

где  $S_{j,n+k} = t_{n+k} / t_j$ ;  $H = 2 - D_2$ .

Величина приращений при этом определяется по формуле:

$$E = \sqrt{2/\pi} \sigma (t_2 - t_1)^H.$$

Проведя множественную генерацию прогнозных траекторий изменения параметра шахтной атмосферы, получаем различные реализации превышения или не превышения параметром предельно допустимого значения. На основе полученных реализаций изменения параметра шахтной атмосферы определяются вероятность и оценка времени превышения порогового значения по алгоритму, на основе разработанной математической модели учитывающей не стационарность процесса измеряемого параметра шахтной атмосферы (рис.2).

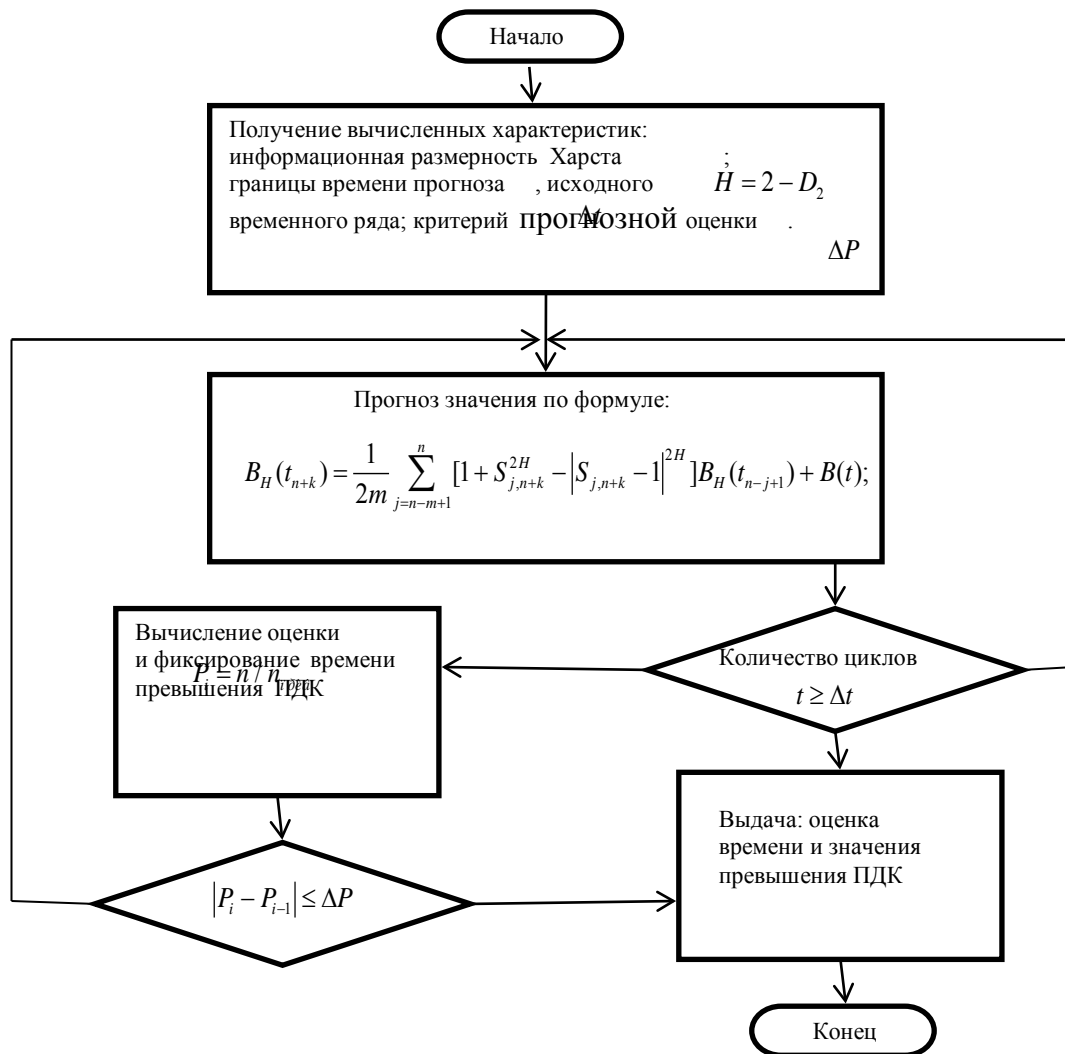


Рис. 2. Этапы алгоритма вычисления на прогнозный период вероятности превышения пороговых значений измеряемого параметра шахтной атмосферы

Получив прогноз вероятностей превышения контролируруемыми аэрогазовыми параметрами предельно допустимых значений, необходимо определить ситуацию в шахте на основе разработанной классификации. Определение объективной оценки аэрогазовой ситуации подземного участка в шахте осуществляется с помощью разработанной методики. Функции принадлежности для определения ситуации в зависимости от совокупной

оценки вероятности превышения аэрогазовыми параметрами на участке представлены в универсальной записи (рис. 3):

$$\mu(x, a, b, c, d) = 0, x < a; \frac{x-a}{c-a}, a < x < c; 1, c \leq x \leq d; \frac{b-x}{b-d}, d < x < b; 0, x \geq b. \quad (9)$$

Параметры  $a, b, c, d$  для штатной, тревожной, предаварийной ситуации определяются экспертным методом для различных подземных аварийных ситуаций.

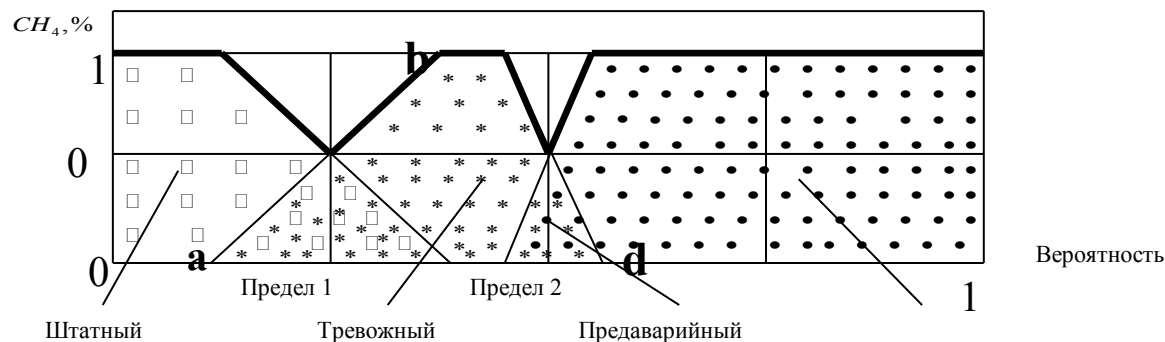


Рис. 3. Функции принадлежности ситуаций

Учет неопределенности разграничения штатного, тревожного и предаварийного режимов работы подземных участков производится перекрытиями, определяемыми функциями принадлежности. При превышении оценки вероятности достижения аэрогазовым параметром шахтной атмосферы предельно допустимого значения необходимо информировать горного диспетчера и предложить список мероприятий, предотвращающих возможную аварийную ситуацию. Для этого в четвертой главе представлена последовательность выработки перечня превентивных мероприятий, направленных на улучшение или предотвращение негативной аэрогазовой ситуации в шахте, основанный на документе «план ликвидации аварий», автоматизирующий часть его функций. В работе разработан механизм для выработки списка превентивных мероприятий, учитывающий прогнозные оценки [7]. На основе определенной оценки аэрогазовой ситуации управления вентиляцией  $Q = \langle q_1, q_2, \dots, q_n \rangle > c$  учетом горно-геологических и технологических факторов, а также оперативного состояния технологического оборудования  $G, T, M$  и определяются возможные мероприятия  $V$  по управлению вентиляцией применимые для данной ситуации на подземном участке шахты (10).

$$\begin{aligned} F_1 : Q \times G \times T \times M \times S \times D &\rightarrow V; \\ F_2 : V \times I_\delta &\rightarrow L. \end{aligned} \quad (10)$$

С учетом особенностей месторождения, технологической схемы добычи угля, проходки, добычного и вспомогательного оборудования  $I_0$  определяется множество мероприятий, применимых в данных условиях для предотвращения или снижения последствий аварийной ситуации в шахте:  $L = \langle l_1, l_2, \dots, l_n \rangle$ .

На основе разработанных математических моделей и алгоритмов спроектирована схема информационно-аналитической системы безопасности шахты (рис.4). [5,6]. Получаемые данные шахтной атмосферы с участков последовательно анализируются в модуле «Вычисление характеристик динамического процесса изменения аэрогазового параметра», вычисляются характеристики анализируемого динамического процесса: энтропия Колмогорова  $K$ , корреляционная размерность, длина выборки, и определяется характер изменения аэрогазового параметра (стационарный или нестационарный).

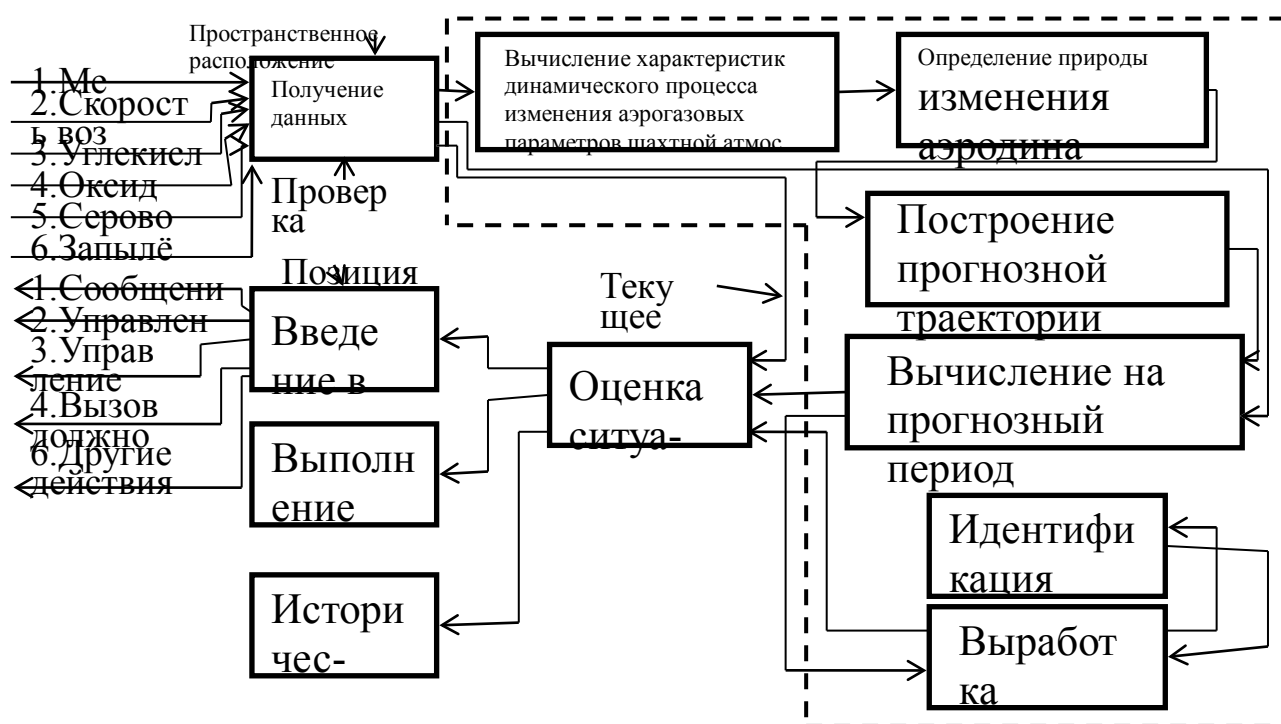


Рис. 4. Структурная схема информационно-аналитической системы безопасности шахты

В модуле «Построение прогнозной траектории изменения аэрогазового параметра» для нестационарного процесса производится построение прогнозных реализаций изменения анализируемого аэрогазового параметра с помощью механизма фрактального броуновского движения и вычисленных характеристики процесса. На основе результата моделирования определяется оценка вероятности превышения аэрогазовым параметром предельно допустимого для него значения. Полученные данные и разработанная в статье классификация ситуаций используются для идентификации аэрогазовой ситуации в шахте. С использованием разработанного механизма выработки списка мероприятий по улучшению состояния возможной

аварийной ситуации диспетчером производится выработка перечня превентивных мероприятий.

**Выводы.** Научная новизна данных исследований заключается в разработке методов и алгоритмов, позволяющих с достаточной степенью достоверности объективно оценить аэрогазовую ситуацию с учетом анализа и прогноза значений параметров шахтной атмосферы и нестационарного характера их изменения во времени, выработать и выполнить превентивные мероприятия, направленные на недопущение аварий на шахтах или снижение их последствий.

#### Список литературы

1. Азбель М.Д. Мониторинг безопасности промышленных предприятий. Учебное пособие. - М.: МГГУ. -2007.325 с.
2. Бондаренко В.В., Куляница А.Л. и др., Подход к прогнозированию развития ситуации и определение управляющих воздействий в интеллектуальной системе поддержки принятия решений. М.: Информационные технологии. -2003. -№8. - С. 13-19.
3. Громов Ю.Ю, Земский Н.А, Иванова О.Г. и др., Фрактальный анализ и процессы в компьютерных сетях: Учеб. пособие. -Тамбов: Издательство ТГТ 2004. -№10. – С. 21-24.
4. Дуброва. Т.А. Статистические методы прогнозирования. М.:ЮНИТИ. -2003. 206 с.
5. Душейко О.С., Томилин Ю.В. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций с использованием интерполяционных формул. //XXIX Неделя науки СП ГТУ. Материалы межвузовской научной конференции. Ч. I. -2001. С.78.
6. Егоров Н., Карпов А. Диагностические информационно-экспертные системы. СПб.: Санкт-Петербургский университет. -2002.320 с.
7. Журавков М. А., Кириенко В. М. Автоматизированная система "План ликвидации аварий" для подземных рудников. //Горный журнал. М.: МГГУ. -2004. -№10.- С. 37-40.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Алексєєвим М.О.  
Надійшла до редакції 18.01.15.*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, П.Б. Машихина, Л.Я. Мунтян

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ОТ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Разработан метод расчета загрязнения атмосферы от подвижного состава. Метод базируется на численном интегрировании трехмерного уравнения миграции примеси в воздухе.

Розроблено метод розрахунку забруднення атмосфери від рухомого складу. Метод базується на чисельному інтегруванні тривимірного рівняння міграції домішки у повітрі.

The method of calculation of the atmosphere pollution from locomotives and trains was developed. A method is based on numeral integration of three-dimensional equation of admixture dispersion.

**Актуальность.** Как известно при транспортировке грузов железной дорогой может происходить достаточно интенсивное загрязнение атмосферного воздуха. С одной стороны, это происходит при эксплуатации локомотивов на дизельном топливе, а также при сносе ветром сыпучих грузов из полувагонов, а с другой стороны – при аварийных выбросах и разливах. Для оценки загрязнения атмосферы во всех случаях используется нормативная методика ОНД-86 [2]. Данная методика основана на применении эмпирических зависимостей, которые не отвечают современным требованиям к прогнозным моделям. Поэтому возникает важная задача по разработке эффективных методов прогноза загрязнения атмосферы при эксплуатации железнодорожного транспорта.

**Целью** данной работы является разработка численной модели для оперативного прогноза уровня загрязнения атмосферы при эксплуатации подвижного состава на железной дороге.

**Математическая модель.** Для моделирования процесса рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере используется трехмерное уравнение миграции примеси [1-4]

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s)C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \mu_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + \sum Q_i(t) \delta(r - r_i), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация примеси;  $u, v, w$  – компоненты вектора скорости воздушной среды;  $w_s$  – скорость оседания примеси;  $\mu = (\mu_x, \mu_y, \mu_z)$  – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии;  $Q$  – интенсивность выброса примеси (выброс от локомотива и т.п.);  $\delta(r - r_i)$  – дельта-функция Дирака;  $r_i = (x_i(t), y_i(t), z_i(t))$  – координаты источника эмиссии.

Краевые условия для данного уравнения рассмотрены в [1,3,4].

Изменение скорости ветра с высотой учитывается, в построенной модели, следующей зависимостью [2]

$$\omega = \omega_1 \frac{\lg z/z_0}{\lg z_1/z_0},$$

где  $\omega_1$  – значение скорости ветра на высоте  $Z_1$  (высота флюгера);  $Z_0$  – шероховатость поверхности.

Шероховатость подстилающей поверхности определяется экспериментальным путем и ориентировочно составляет: для почвы без покрова  $z_0 \approx 0,005$  м; для леса  $z_0 \approx 1$  м; для травы  $z_0 \approx 0,01$  м. Для зданий эта величина рассчитывается так:

$$Z_0 = (1, 0-1, 4) H,$$

где  $H$  – высота здания.

Для расчета коэффициентов диффузии используются зависимости [2]

$$\mu_y = k_0 \cdot u, \quad k_0 = 0,1,$$

$$\mu_z = k_1 \cdot \left( \frac{Z}{Z_1} \right)^m,$$

где  $Z$  – высота, на которой определяется величина коэффициента  $\mu_z$ ;  $m \approx 1$ ,  
 $\mu_x = \mu_y$ .

Для расчета массы примеси, попавшей на конкретный участок земной поверхности, при эмиссии примеси от источника загрязнения на транспорте используется зависимость:

$$G = (w_s + \mu_z \alpha) C(x, y, z = 0) T,$$

где  $S$  – рассматриваемый участок поверхности (лес, посадки и т.д.).  $T$  – промежуток времени;  $\alpha > 0$  – коэффициент, который учитывает «захват» части примеси поверхностью земли [4].

**Метод численного решения.** Численно решение уравнения транспорта загрязнителя осуществляется на прямоугольной разностной сетке. Для интегрирования применяется неявная разностная схема [1,2]. Рассмотрим основные черты этой схемы.

Проведем следующую аппроксимацию производных, входящих в уравнение [1,3]

$$\frac{\partial C}{\partial t} \approx \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t};$$

$$\frac{\partial u C}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x}; \quad \frac{\partial v C}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y}; \quad \frac{\partial w C}{\partial z} = \frac{\partial w^+ C}{\partial z} + \frac{\partial w^- C}{\partial z};$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^+ C_{ijk}^{n+1} - u_{ijk}^+ C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1};$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j,k}^- C_{i+1,j,k}^{n+1} - u_{ijk}^- C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1};$$

где  $u^+ = \frac{u + |u|}{2}$ ;  $u^- = \frac{u - |u|}{2}$  и т.д.

Вторые производные аппроксимируем следующим образом:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \tilde{\mu}_x \frac{C_{i+1,j,k}^{n+1} - C_{ijk}^{n+1}}{\Delta x^2} - \tilde{\mu}_x \frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{i-1,j,k}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1}.$$

В используемых выражениях  $L_x^+$ ,  $L_x^-$ ,  $M_{xx}^+$ ,  $M_{xx}^-$  – обозначения разностных операторов [1,3].



С учетом этих обозначений разностный аналог уравнения (1) будет иметь вид:

$$\frac{C_{ijk}^{n+1} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + L_x^+ C^{n+1} + L_x^- C^{n+1} + L_y^+ C^{n+1} + L_y^- C^{n+1} + L_z^+ C^{n+1} + L_z^- C^{n+1} + \sigma C_{ijk}^{n+1} = \\ = \left( M_{xx}^+ C^{n+1} + M_{xx}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1} + M_{yy}^- C^{n+1} + M_{zz}^+ C^{n+1} + M_{zz}^- C^{n+1} \right).$$

Решение данного разностного уравнения расщепляется при интегрировании на временном интервале  $dt$  так:

– на первом шаге  $k = \frac{1}{4}$ :

$$\frac{C_{ijk}^{n+k} - C_{ijk}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left( L_x^+ C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} \left( M_{xx}^+ C^k + M_{xx}^- C^n + M_{yy}^+ C^k + M_{yy}^- C^n + M_{zz}^+ C^k + M_{zz}^- C^n \right),$$

– на втором шаге  $k = n + \frac{1}{2}; c = n + \frac{1}{4}$ :

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left( L_x^- C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} \left( M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c \right),$$

– на третьем шаге  $k = n + \frac{3}{4}; c = n + \frac{1}{2}$ :

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left( L_x^+ C^k + L_y^- C^k + L_z^- C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} \left( M_{xx}^- C^c + M_{xx}^+ C^k + M_{yy}^- C^k + M_{yy}^+ C^c + M_{zz}^- C^k + M_{zz}^+ C^c \right),$$

– на четвертом шаге  $k = n + 1; c = n + \frac{3}{4}$ :

$$\frac{C_{ijk}^k - C_{ijk}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} \left( L_x^- C^k + L_y^+ C^k + L_z^+ C^k \right) + \frac{\sigma}{4} C_{ijk}^k = \\ = \frac{1}{4} \left( M_{xx}^- C^k + M_{xx}^+ C^c + M_{yy}^- C^c + M_{yy}^+ C^k + M_{zz}^- C^c + M_{zz}^+ C^k \right).$$

В данные разностные соотношения входит «возмущенный» коэффициент диффузии  $\tilde{\mu}$  [4].

**Практическая реализация модели.** На основе данной разностной схемы разработана компьютерная модель, реализованная в виде программы «Emission». Данная программа ориентирована на решение таких задач:

1. Прогноз уровня загрязнения атмосферы от передвижных источников на железнодорожном транспорте (локомотивы, вагоны).
2. Прогноз уровня загрязнения атмосферы при аварийных выбросах, разливах на железнодорожном транспорте.
3. Проведение экологической экспертизы для оценки уровня загрязнения примагистральной территории.

На рис.1,2, в качестве иллюстрации, представлены результаты расчета зоны загрязнения атмосферы при аварийном разливе аммиака на ст. Павлоград.



Рис.1. Зона загрязнения для момента времени  $t=7$  мин (уровень  $Z=12$ м)



Рис.2. Зона загрязнения для момента времени  $t=19$  мин (уровень  $Z=12$ м)

Как видно из данных рисунков зона загрязнения представляет собой «язык», который вытягивается в направлении движения воздушных масс, подвергая загрязнению жилые районы.

**Выводы.** В работе построена компьютерная модель и на ее основе разработан эффективный метод расчета динамики загрязнения атмосферы от подвижного состава. Дальнейшее совершенствование данного направления следует проводить в направлении создания модели для расчета рассеивания примеси совместно с расчетом аэродинамики воздушного потока.

#### Список литературы

1. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 136 с.
2. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
3. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наук. думка, 1997. – 368 с.
4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г. И. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
5. Самарский А. А. Теория разностных схем / Самарский А. А. – М.: Наука, 1983. – 616 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 22.01.15*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, В.И. Ночвай

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ В РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Предложен комплексный подход к созданию математической модели и ее численной реализации, позволяющий рассчитать динамику регионального и локального загрязнения атмосферного воздуха с учетом организованных и неорганизованных источников выбросов загрязняющих веществ вследствие хозяйственной деятельности и возможных чрезвычайных ситуаций.

Запропоновано комплексний підхід до створення математичної моделі та її чисельної реалізації, що дозволяє розрахувати динаміку регіонального і локального забруднення атмосферного повітря з урахуванням організованих і неорганізованих джерел викидів забруднюючих речовин внаслідок господарської діяльності та можливих надзвичайних ситуацій.

A comprehensive approach to the creation of a mathematical model and its numerical implementation, which allows to calculate the dynamics of regional and local air pollution taking into account organized and others sources of pollutant emissions due to economic activities and possible emergencies.

**Вступление.** В связи с ухудшением экологической обстановки, ослаблением государственного экологического контроля и практически неконтролируемом использовании природных ресурсов задачи обеспечения экологической безопасности являются приоритетными при построении моделей регионального развития. При этом актуальной задачей является разработка комплексных математических моделей процессов антропогенного влияния на окружающую среду и их численная реализация в региональном масштабе. От таких моделей требуется как расчет усредненных показателей

регионального качества окружающей среды, так и локальные расчеты опасных воздействий на экосистемы и здоровье жителей региона.

**Постановка задачи.** Рассматривается некоторый регион, в котором происходят процессы массообмена с атмосферой: испарение, осаждение, выветривание, биогенная и антропогенная эмиссия. Все источники будем представлять в виде  $n$ -точечных источников выбросов,  $l$ -линейных и  $m$ -площадных мгновенного, периодического, циклического и непрерывного (стационарные) действия. Организованные разделим по отраслевому признаку предприятий: промышленные, энергетические, сельскохозяйственные, горно-добывающие, а также отдельно следует выделить сектор домохозяйств и транспорт. Каждый источник выбрасывает  $i=1..k$  – загрязняющих веществ. Количество и интенсивность неорганизованных источников зависят от регионального уровня экологической безопасности в промышленности, сельском хозяйстве и в бытовом секторе, а также террористических и военных угроз. Вероятность таких случаев можно оценить статистически либо на основании уровней безопасности действующих предприятий, транспортной и энергетической инфраструктуры. Следует также принимать во внимание тенденции изменения параметров надежности и безопасности за счет внутренних и внешних факторов (объем финансирования, природные факторы, политические и социальные риски). Актуальной задачей есть оценка общего уровня загрязнения региона, моделирование пространственно-временной динамики формирования полей концентраций загрязняющих веществ (ЗВ) с целью оценки экологических рисков опасных последствий загрязнений.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В литературе известно большое количество публикаций посвященных моделированию загрязнения воздуха. В Советском Союзе известна теоретическая школа академика Г. И. Марчука, исследования и прикладные модели Н. Л. Бызовой, М. Е. Берлянда. В Европейском Союзе и США разработано ряд численных моделей расчета загрязнения воздуха: UAM-V, CMAQ, CAMx, ENVIRO-NIRLAM, CHIMERE [1]. Несмотря на это, применение таких моделей ограничено большой сложностью и узким классом задач: региональный перенос, локальный перенос, городская среда, ровная поверхность и прочее. Заметим, что применение базы моделей требует также довольно глубоких знаний особенностей реализации каждой из моделей, решаемых задач и сценариев. Не всегда возможным есть обеспечение интероперабельности и интеграции разнотипных моделирующих систем. Именно этим можно объяснить факт, что в Украине, для прогноза последствий аварий на химически - опасных объектах традиционно используются нормативная методика или методика РД 52.04.253-90. Обе методики основаны на применении эмпирических формул. Недостатком данных методик является отсутствие прямого учета скорости ветра, атмосферной диффузии на процесс формирования зоны загрязнения. В Украине также применяются аналитические модели и в частности модель Гаусса для прогноза аварийного загрязнения атмосферы. Эти модели позволяют оперативно рассчитать зону

загрязнения, но для упрощенных ситуаций типа точечный постоянно действующий источник выброса или точечный мгновенный выброс. Кроме этого, при применении моделей Гаусса необходимо научное обоснование значений коэффициентов дисперсии для территории Украины, которое в настоящее время – отсутствует. Для практики важно иметь гибкие математические модели, которые позволяли бы прогнозировать зону химического загрязнения с максимальным учетом физических факторов, влияющих на процесс переноса и позволяющих оценивать риски токсичного поражения людей и экосистем. Такие модели получили название «diagnostic models» [2,3].

В таких условиях для комплексного подхода к моделированию задач обеспечения региональной экологической безопасности возникает необходимость применения комплексной численной модели, которая использует базовую математическую модель переноса и ряд дополнительных моделей физико-химических процессов формирования выбросов и их трансформации для различных сценариев образования, распространения, нейтрализации и экологической ассимиляции ЗВ. Необходим также единый подход к численной аппроксимации уравнений, который позволяет задавать оптимальный шаг сетки на разных подсеточных уровнях с учетом физической параметризации и вычислительной эффективности.

#### **Математическая модель накопления загрязнений в регионе.**

Масштаб моделей с одной стороны должен охватывать весь регион  $\Sigma_0$ , с другой стороны в задачах экологической безопасности необходимо производить также более детализированные расчеты локальной области воздействия загрязнений на населенные пункты и экосистемы. Как известно, в зависимости от цели и задач моделирования, методика решения таких задач должна отвечать определенным требованиям: разрешение модели, скорость расчета, учет основных физических и фото-химических параметров процесса, возможность моделирования различных сценариев (залповый выброс, полунепрерывный и т.д.).

Общую динамику накопления загрязнений (S) в задачах регионального экологического управления, как правило, моделируют системой обыкновенных дифференциальных уравнений, в которых учитывают эмиссию ЗВ по отраслям экономики соотнося ее либо к производственным возможностям, либо к объёму ресурсов (h), потребляемых производственной системой. Также в модели учитывают возможности окружающей среды по ассимиляции загрязнений. Кроме того, может быть необходимость учитывать баланс (P) выноса загрязнений из региона и входящего потока из других регионов:

$$\frac{dS}{dt} = a_1 h(t) - a_2 S - P, \quad (1)$$

$a_1$  – коэф. эмиссии конкретного вида ЗВ на единицу потребленного ресурса,  
 $a_2$  – коэф. ассимиляции ЗВ окружающей средой,

$S=(S^{\text{пов}}, S^{\text{вода}}, S^{\text{грунт}})$  – накопленные загрязнения, с соответствующими компонентами:

$$\begin{aligned} S^{\text{пов}} &= (S^{\text{пов}}_1, \dots, S^{\text{пов}}_l) - \text{ЗВ в воздухе,} \\ S^{\text{вода}} &= (S^{\text{вода}}_1, \dots, S^{\text{вода}}_m) - \text{ЗВ в воде,} \\ S^{\text{грунт}} &= (S^{\text{грунт}}_1, \dots, S^{\text{грунт}}_p) - \text{ЗВ в грунте.} \end{aligned}$$

С помощью модели (1) можно оценить критерий интегральной оценки регионального загрязнения среды:

$$S_j(T_j) = \int_{T_j} S_{nj}(t_n) dt, j \in [1; N],$$

где  $S_{nj}$  – общее загрязнение для  $j$ -ЗВ в  $n$ -м периоде.

**Оценка ущерба для окружающей среды и здоровья населения в результате воздействия загрязнения.** Сам по себе критерий интегрального загрязнения не столь важен, сколько важна оценка ущерба для окружающей среды и здоровья населения в результате воздействия загрязнения. Например, экологический ущерб может быть рассчитан – как биосферные потери в регионе ( $\Sigma_0$ )[4]:

$$Y = \int_0^T dt \int_{\Sigma_0} p_0 S d\Sigma, p_0 = \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^s n_l \beta_l b_{lj}$$

$n_l$  – плотность  $l$ -популяции в регионе;  $b_{lj}$  – потери биомассы на единицу плотности  $l$ -популяции от  $j$ -ЗВ;  $\beta_l$  – стоимость единицы  $l$ -компонента биомассы.

При этом в отдельных зонах  $\Sigma_k$  необходимо соблюдать как условие обеспечения нормативов качества воздуха:  $S_{kj} \leq S_{kj \text{ доп}}$ ,

так и условий обеспечения экологически безопасных рисков для окружающей среды  $r_{kj} = p Y_j \leq r_{kj, \text{безп}}$ , где  $p$  – степень риска, вероятность проявления опасных последствий факторов риска – токсичных эффектов поражения.

При аварии будет происходить перемещение людей – эвакуация. Это усложняет прогноз поражения, т. к. люди на маршруте эвакуации будут проходить подзоны с различной по величине концентрацией. Поэтому для такой ситуации оценкой поражения будет являться определение *токсодозы* для людей, попавших в зону  $\Sigma_k$  химического загрязнения:

$$TD = \int_0^t C(\Sigma, t) dt,$$

где  $t$  – время экспозиции;  $C$  – концентрация вредного вещества.

**Моделирование задач региональной экологической безопасности.** Таким образом, первой важной задачей (управления качеством воздуха)

является обеспечение стратегически направленных механизмов экологического управления (u) в регионе по уменьшению в некотором периоде (как правило год) выбросов (Q) от пространственно распределенных источников формирующих загрязнения (S) ниже уровня нормативных стандартов качества воздуха в k-зоне:

$$\min_{\{u(t, \Sigma)\}} \int_t \int_{\Sigma_k} S(Q, u, \Sigma, t) d\Sigma dt \leq S_{k \text{ норм}}$$

Согласно действующей нормативной методике, в случае присутствия в атмосферном воздухе одновременно  $n$  загрязняющих веществ, что проявляют суммацию вредного воздействия, то для каждой группы таких веществ рассчитывается суммарная концентрация:  $S = (c_1/\text{ПДК}_1) + (c_2/\text{ПДК}_2) + \dots + (c_n/\text{ПДК}_n)$ ; где  $c_1, c_2, \dots, c_n$  (мг/м<sup>3</sup>) – расчетные концентрации ЗВ в одной и той же точке; ПДК<sub>1</sub>, ПДК<sub>2</sub>..ПДК<sub>n</sub> (мг/м<sup>3</sup>) – соответствующие максимально разовые предельно-допустимые концентрации ЗВ в атмосферном воздухе. Или же значение концентраций  $n$  ЗВ, проявляющих суммацию вредного воздействия, приводятся условно к значению концентрации одного из них:  $S = c_1 + c_2 \cdot \text{ПДК}_1/\text{ПДК}_2 + \dots + \text{ПДК}_1/\text{ПДК}_n$ .

Второй задачей (региональной экологической безопасности) является проведения мероприятий (u) минимизации до приемлемого уровня рисков вредных эффектов организованных и неорганизованных выбросов мощности (Q) как на отдельные элементы экосистемы, так и на их общие эмерджентные характеристики и функции (E):

$$\min_{\{u(t, \Sigma)\}} \int_t \int_{\Sigma_k} R(Q, u, E, \Sigma, t) d\Sigma dt \leq r_{k \text{ норм}}$$

Для учета возможных чрезвычайных ситуаций и аварийных выбросов с целью предупреждения возникновения и ликвидации последствий, используем формулу [5] полного риска  $r(Y, A)$  эколого-экономических потерь (Y) на конечном множестве  $A = \{e_{i,A}\}$ ,  $i=1..N$ , независимых сценариев  $e_{i,A}$  аварий, каждый из которых в сочетании с некоторыми независимыми неблагоприятными условиями – элементами конечного множества  $\theta_k \in \Theta$ ,  $k=1..K$ , приводит к ущербу  $Y(e_{i,A}, \theta_k)$ :

$$r(Y, A) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K p(e_{i,A}, \theta_k) Y(e_{i,A}, \theta_k),$$

где  $p(e_{i,A}, \theta_k)$  – полные вероятности пересечения  $i$ -аварийных сценариев  $e_{i,A} \in A$ ,  $i=1..N$ , с неблагоприятными условиями  $\theta_k \in \Theta$ ,  $k=1..K$ , вероятности которых считаются заданными. Неблагоприятные условия в месте возникновения опасного источника ЗВ, в первую очередь определяются метеоусловиями, которые определяют характер и направленность развития зоны токсического поражения, наличием поблизости средств и сил противодействия ЧС.

База возможных сценариев опасных выбросов в результате природных и техногенного характера включает: промышленные аварии, аварии на транспорте, теракты, взрывы, пожары, землетрясения, наводнения, ураганы. Если на их основе построить полную группу наиболее вероятных событий  $e_i \in E, i = 1..N$  с применением байесового подхода, то для определения полной вероятности экологического ущерба в регионе достаточно задать структурную функцию  $\Psi(S)$  надежности (экобезопасности региональной системы), такую, что  $\Psi(S) : E \rightarrow A$ .

Таким образом оценив плотность распределения вероятности данных событий по территории и рассчитав вероятное пространственно-временное распределение вредного фактора (вероятность контакта с реципиентами риска) можно определить:  $p(e_{i,A}, \theta_k) = p(e_{i,A})p(\theta_k)$  и на основе экономической оценки природных ресурсов и потерь для здоровья можно оценить уровень риска региональной экологической безопасности от возможных чрезвычайных ситуаций.

**Моделирование пространственного распределения полей концентрации ЗВ.** Для построения универсальной математической модели пространственного распространения загрязнений в качестве базового, используем уравнение адвекции-диффузии с учетом параметризации основных физико-химических процессов [4].

В зависимости от физико-химических особенностей конкретного сценария загрязнения атмосферы будем добавлять соответствующие слагаемые (осадки, фото-химическая и биологическая трансформация).

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [2,3]. Для численного интегрирования уравнения переноса примеси в атмосфере применяется неявная разностная схема. Детально численное интегрирование модели переноса описано в работах [2,6].

Для основной региональной сетки используется двумерная численная модель потока воздуха в сложной местности - на основе упрощенных уравнений потока и нелинейного уравнения переноса оторванного вихря. В области потока, рассеивания загрязняющих веществ численно моделируется с помощью первого порядка замыкания (К-теория). Трехмерное моделирование потенциального потока используется для локальных расчетов скорости ветра сложной местности.

**Выводы.** Предложен комплексный подход к созданию математической модели и ее численной реализации, позволяющий рассчитать динамику регионального и локального загрязнения атмосферного воздуха вследствие хозяйственной деятельности и возможных чрезвычайных ситуаций. Особенностью численной модели является использование подсеточных областей с дополнительными моделями параметризации процессов при необходимости детализации расчета. Для учета физико-химических особенностей различных сценариев выбросов (разливы, пожары, взрывы) необходимо формирование базы эмиссионных моделей. Модель может быть



использована при решении региональных задач в области экологической безопасности и управления качеством воздуха.

#### Список литературы

1. COST-710-WG3.Final report. Harmonisation of the pre-processing of meteorological data for atmospheric dispersion models//Edited by В.Е.А.Fisher and others.-Luxemburg.European Communities:1998 – 480 p.
2. Беляев Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Д.: «Акцент ПП», 2013. – 159 с.
3. Беляев Н. Н. Моделирование нестационарных процессов аварийного загрязнения атмосферы: Монография / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машихина. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 127 с.
4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г. И. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
5. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності.-К.:Азимут-Україна, 2009. – 104 с.
6. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // Springer: Air Pollution Modeling and its Application XXI, 2012. pp.87 – 91.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 20.01.15*

УДК 519.6

© Н.Н. Беляев, С.Г. Цыганкова

### **РАСЧЕТ АЭРОИОННОГО РЕЖИМА В ПОМЕЩЕНИИ И В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ НА БАЗЕ ЧИСЛЕННОЙ МОДЕЛИ**

Рассмотрена эффективная численная модель для прогноза аэроионного режима в помещениях и в рабочих зонах. Модель основывается на применении уравнений аэродинамики, электростатики и массопереноса.

Розглянута ефективна чисельна модель для прогнозу аероіонного режиму в приміщеннях і в робочих зонах. Модель ґрунтується на застосуванні рівнянь аеродинаміки, електростатики і масопереносу.

A numeral model allowing operatively to compute the dynamics of ion dispersion in rooms was developed. The model is based on equations of fluid dynamics, electrostatic and mass transfer.

**Постановка проблемы.** Как известно, для обеспечения нормального микроклимата на рабочих местах необходимо, чтобы в рабочих зонах была определенная концентрация аэроионов [1, 2-4]. Это ставит задачу разработки методов прогноза концентрационных полей аэроионов в любой части помещения для обоснования места расположения ионизаторов. В настоящее время, для решения задач такого класса требуется разработка специальных

методов расчета, позволяющих, оперативно и экономично, определять рациональное расположение ионизаторов в помещениях.

**Анализ публикаций.** Расчет распространения аэроионов в помещениях, в настоящее время, в Украине, проводится на базе аналитических моделей [2-4]. Применение данных моделей дает возможность быстро рассчитать концентрацию аэроионов. Однако данные модели не учитывают аэродинамику воздушных струй в помещении, наличие мебели, оборудования и т.п. – т.е. именно те факторы, которые определяют формирование концентрационного поля аэроионов. Аналитические модели дают возможность рассчитать концентрационное поле аэроионов только для случая «гладкая поверхность», без учета влияния стен, пола, потолка, препятствий на процесс рассеивания аэроионов. Для получения более обоснованной прогнозной информации необходимо применение CFD моделей [1].

**Целью** данной работы является создание эффективной CFD модели для прогноза аэроионного режима в помещениях и в рабочих зонах, позволяющей учитывать наиболее существенные физические факторы, определяющие формирование концентрационного поля аэроионов.

**Моделирующие уравнения.** Перенос аэроионов в помещении обусловлен воздействием следующих факторов: конвективный поток воздуха, диффузия, воздействие электрического поля. Кроме этого происходит взаимодействие ионов различной полярности и взаимодействие их с частицами пыли. Для учета этих процессов, при моделировании рассеивания аэроионов, будем использовать уравнение переноса в виде [1]:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial(u + bE)C}{\partial x} + \frac{\partial(v + bE)C}{\partial y} = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) - \alpha C B - C D + \\ & + \sum Q_c(t) \delta(x - x_c) \delta(y - y_c), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C$ ,  $B$ ,  $D$  – концентрация отрицательных, положительных аэроионов и частиц пыли соответственно;  $u$ ,  $v$ , – компоненты вектора скорости движения воздушного потока в помещении;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты диффузии;  $t$  – время;  $\alpha$  – скорость рекомбинации ионов, имеющих различную полярность;  $\beta$  – скорость рекомбинации ионов с частицами пыли;  $Q_{c_i}$ , – интенсивность эмиссии отрицательных ионов в соответствующих точках с координатами  $x_c, y_c$ ;  $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $b$  – коэффициент мобильности ионов;  $E$  – напряженность электрического поля.

Отметим, что ось  $Y$  направлена вертикально вверх.

Поскольку аэроионы имеют заряд, то они генерируют электрическое поле  $E$ , которое описывается следующим уравнением [1]:

$$\frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} = \frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость;  $q_e$  – плотность объемного заряда.

От уравнения (2) можно перейти к скалярному потенциалу, если учесть такую зависимость

$$E_x = -\frac{\partial \phi}{\partial x}, \quad E_y = -\frac{\partial \phi}{\partial y}. \quad (3)$$

Тогда получим уравнение Пуассона следующего вида [1]

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = -\frac{q_e}{\varepsilon_0}, \quad (4)$$

где  $q_e = -eC(x, y)$ ,  $C(x, y)$  – концентрация отрицательных аэроионов;  $\phi$  – скалярный потенциал;  $e$  – элементарный заряд. На базе данного уравнения осуществляется моделирование электрического поля.

Для описания процессов рассеивания положительных ионов и пыли будем использовать уравнение переноса вида (1)

$$\frac{\partial B}{\partial t} + \frac{\partial uB}{\partial x} + \frac{\partial vB}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial B}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial B}{\partial y} \right) - \quad (5)$$

$$- \alpha CB - \beta BD + \sum Q_B(t) \delta(x - x_B) \delta(y - y_B),$$

$$\frac{\partial D}{\partial t} + \frac{\partial uD}{\partial x} + \frac{\partial vD}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial D}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial D}{\partial y} \right) + \quad (6)$$

$$+ \sum Q_{Di}(t) \delta(x - x_D) \delta(y - y_D).$$

Обозначение физических параметров в этих уравнениях совпадает с аналогичными обозначениями, приведенными для уравнения (1).

Для расчета аэродинамики воздушных потоков в помещении будем применять модель потенциального течения. Моделирующим уравнением, в этом случае, будет уравнение Лапласа для потенциала скорости (7)

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (7)$$

где  $P$  – потенциал скорости.

Компоненты вектора скорости воздушной среды связаны с потенциалом скорости следующими зависимостями

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (8)$$

Постановка краевых условий для моделирующих уравнений рассмотрена в [1,5].

**Численное решение моделирующих уравнений.** Для численного интегрирования уравнений переноса, первоначально, проводится их физическое и геометрическое расщепление с последующим расчетом по

неявной схеме [5], для численного решения уравнения Лапласа и уравнения Пуассона применяется метод Либмана. Расчет выполняется на прямоугольной разностной сетке.

**Результаты вычислительного эксперимента.** Разработанная численная модель была применена для решения задачи о прогнозе концентрационного поля отрицательных аэроионов в помещении.

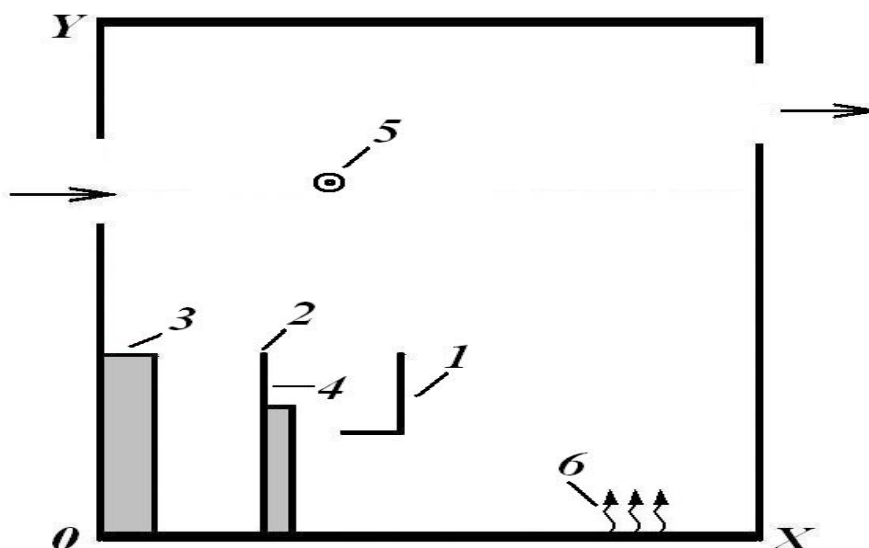


Рис .1. Схема расчетной области: 1 – стул; 2 – рабочее место; 3 –шкаф; 4 – источник эмиссии положительных ионов; 5 – ионизатор воздуха; 6 – место эмиссии пыли

Схема расчетной области – помещения, в котором моделируется аэроионный режим, показана на рис.1. В рабочей зоне (рис.1, позиция 4) происходит эмиссия положительных ионов с интенсивностью  $Q_B=6 \cdot 10^4$  частиц/с. Поступление отрицательных ионов в помещение происходит от ионизатора (рис.1) интенсивностью  $Q_C=20 \cdot 10^{11}$  частиц/с . В помещении происходит выброс пыли в количестве  $Q_{Di}=2 \cdot 10^6$  частиц/с (зона пылевыделения условно показана волнистыми стрелками на рис.1). Остальные параметры задачи таковы: размеры комнаты 6м\*4м; кратность воздухообмена 3 [1/час];  $\alpha=1.5 \cdot 10^{-12}$  м<sup>3</sup>/с,  $\beta=1 \cdot 10^{-12}$  м<sup>3</sup>/с [1], коэффициенты турбулентной диффузии по всем направлениям приняты равными  $10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с [1]. Расчет выполнен для трех различных расположений ионизатора в помещении.

Результаты вычислительного эксперимента показаны на рис.2-4. На этих рисунках показаны матрицы значений концентрации отрицательных ионов внутри помещения (место положения ионизатора представлено условно «кружком»). Результаты приведены в безразмерном виде: каждое число – это величина концентрации в процентах от величины максимальной концентрации в помещении. Вывод на печать чисел осуществлен по формату «целое число», т.е. дробная часть числа не выдается на печать; также приводится максимальное значение концентрации в расчетной области  $C_{max}$ .

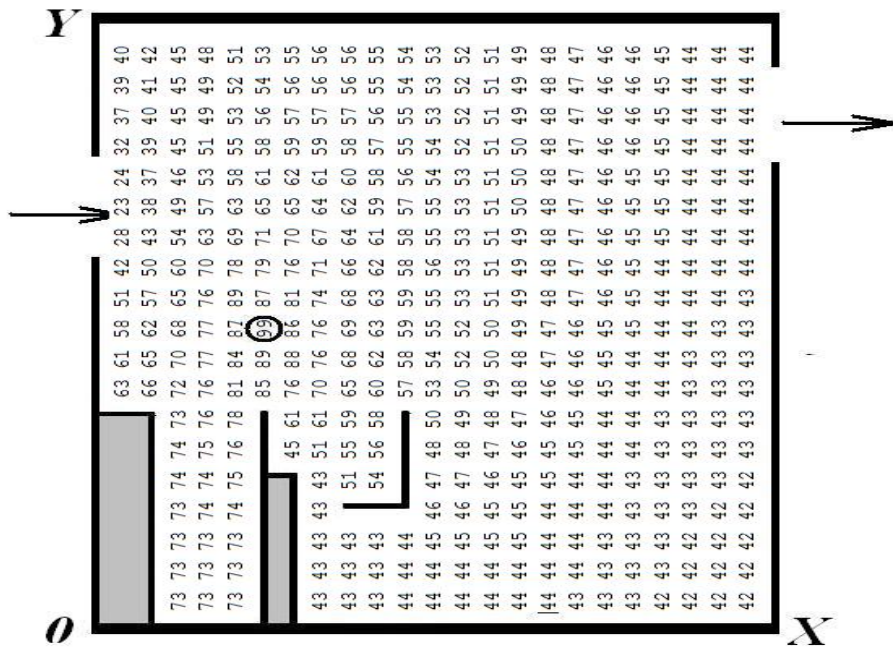


Рис.2. Распределение концентрации отрицательных аэроионов в помещении (первый вариант расположения ионизатора,  $C_{\max}=0.17 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>)

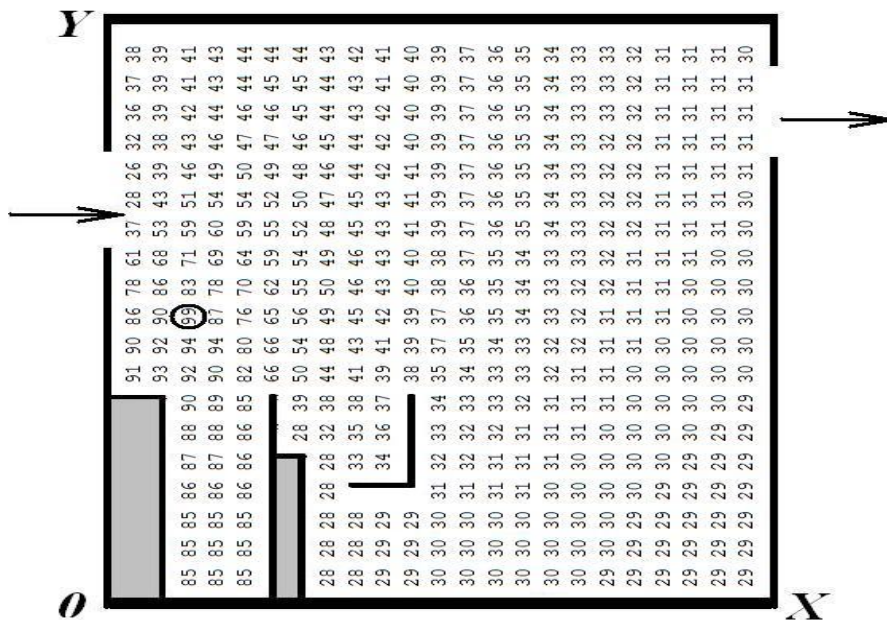


Рис.3. Распределение концентрации отрицательных аэроионов в помещении (второй вариант расположения ионизатора,  $C_{\max}=0.19 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>)

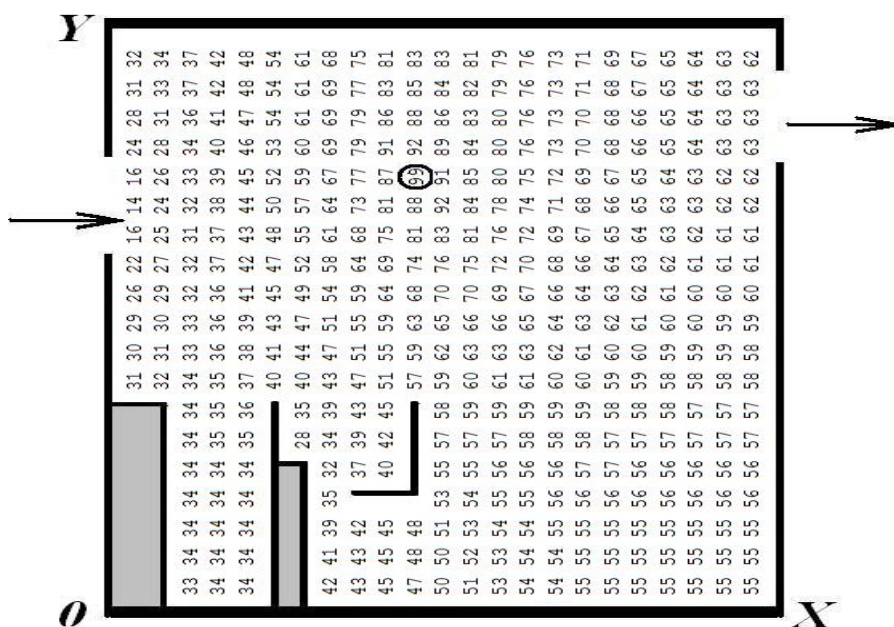


Рис.4. Распределение концентрации отрицательных аэроионов в помещении (третий вариант расположения ионизатора,  $C_{\max}=0.22 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>)

Из данных рисунков видно, что картина распределения отрицательных аэроионов в помещении имеет существенно неравномерный характер.

Практический интерес представляет прогноз аэроионного режима в рабочих зонах, в частности, там, где находятся органы дыхания работников. Для оценки аэроионного режима выбрана позиция над спинкой стула, т.е. там, где находится голова работника (эта зона на рисунках условно представлена в виде «прямоугольника»). Результаты расчета концентрации  $C_w$  отрицательных аэроионов для каждой такой зоны таковы: первый вариант  $C_w=0.09 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>; второй вариант  $C_w=0.07 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>; третий вариант  $C_w=0.12 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>. Так как максимально допустимая концентрация отрицательных ионов не должна быть более  $0.05 \cdot 10^{12}$  частиц/м<sup>3</sup>, то очевидно, что в каждом варианте имеет место превышение этой нормы. Для достижения этой нормы необходимо, например, уменьшить интенсивность их эмиссии. Так, в случае третьего варианта, интенсивность эмиссии ионов следует уменьшить, примерно в три раза.

В заключение отметим, что расчет одного варианта задачи на базе разработанной CFD модели составляет порядка 3 минуты компьютерного времени.

**Выводы.** Рассмотрена новая CFD модель, позволяющая оперативно рассчитывать концентрационное поле аэроионов в помещениях и в рабочей зоне. Дальнейшее развитие модели следует проводить в направлении создания пространственной численной модели прогноза аэроионного режима в помещениях.

#### Список литературы

1. Fletcher L. A., Noakes C. J., Sleight P. A., Beggs C. B., Shepherd S. J. (2008) Air ion behavior in ventilated rooms. *Indoor and uilt Environment*, 17 (2). P.173–182.

2. Запорожец О. І. Принципи моделювання динаміки аероіонного складу повітря у приміщеннях / О. І. Запорожец, В. А. Глива, О. В. Сидоров // Вісник НАУ. – 2011. – №2. – С.120–124.
3. Бахрушин В. Е. Моделирование распределения концентрации ионов вблизи ионизатора / В. Е. Бахрушин, М. А. Игнашина, Д. В. Вергинский, А. Ю. Евсюков // Складні системи та процеси. – 2002. – №1. – С.30–36.
4. Толкунов И. А. Теоретическое исследование процессов переноса аэроионов в потоках воздуха в помещениях специального назначения МЧС Украины / И. А. Толкунов, И. И. Попов, В. В. Барбашин // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2010. – Випуск 11. – С.137-145.
5. Беляев Н. Н. Защита зданий от проникновения в них опасных веществ: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, Н. В. Росточило. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 136 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 20.01.15*

УДК 519.6

© В.В. Беляева, А.В. Берлов

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ПРИ АВАРИИ НА ХИМИЧЕСКИ-ОПАСНОМ ОБЪЕКТЕ**

Представлена численная модель, позволяющая оперативно рассчитать динамику загрязнения атмосферного воздуха и риска токсичного поражения людей при чрезвычайной ситуации на химически - опасном объекте. Рассмотрено применение построенной модели для расчета динамики загрязнения атмосферы в случае аварийного выброса химически-опасного вещества в хранилище твердого ракетного топлива.

Представлена чисельна модель, що дозволяє оперативно розрахувати динаміку забруднення атмосферного повітря і ризику токсичного ураження людей під час надзвичайної ситуації на хімічно - небезпечному об'єкті. Розглянуто застосування побудованої моделі для розрахунку динаміки забруднення атмосфери в разі аварійного викиду хімічно-небезпечної речовини в сховище твердого ракетного палива.

A numeral model allowing operatively to compute the dynamics of contamination of atmospheric air and risk of toxic defeat of people at an emergency on chemically is worked out - dangerous object. The application of the model constructed to calculate the dynamics of air pollution in the event of an accidental release of chemical hazardous substances in the vault of solid rocket propellant.

**Вступление.** Как известно на территории Павлоградского химического завода в специальных хранилищах (рис.1.) находится твердое ракетное топливо ракетной системы РС-22 (рис.2).

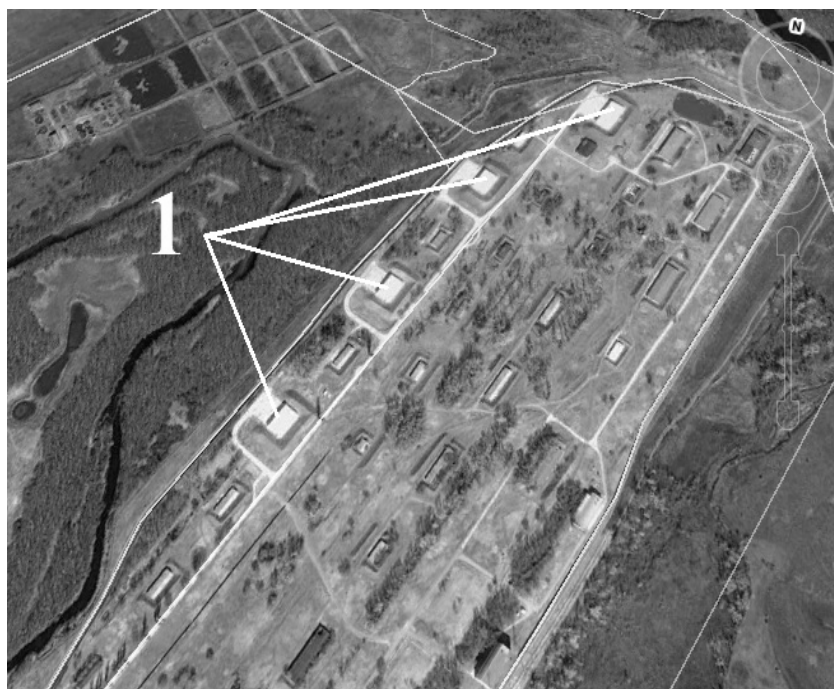


Рис.1. Общий вид хранилищ на территории завода: 1 – хранилище твердого ракетного топлива



Рис.2. Межконтинентальная баллистическая ракета РС-22 («Scalpel»)

Поэтому возникает важная задача по оценке уровня загрязнения атмосферы в случае чрезвычайной ситуации в данном хранилище (диверсия). Одним из сценариев выброса опасных веществ в атмосферу, в этом случае, может быть краткосрочная эмиссия следующих продуктов горения:  $\text{CO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{NO}_2$ , диоксины и др. В этом случае крайне важна оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха при такой чрезвычайной ситуации.





Рис.3. Вид расчетной области: 1 – Павлоградский район, 2 – Юрьевский район

**Анализ существующих решений.** В настоящее время, в Украине, при оценке зон химического поражения в случае аварий на химически-опасных объектах используется нормативная методика, которая основывается на применении эмпирических моделей. Кроме этого применяются аналитические модели и в частности модель Гаусса для прогноза аварийного загрязнения атмосферы [3]. Эти модели позволяют оперативно рассчитать зону загрязнения, но только для упрощенных ситуаций типа точечный постоянно действующий источник выброса или точечный мгновенный выброс. Для практики важно иметь эффективные математические модели, которые позволяли бы прогнозировать зону химического загрязнения с максимальным учетом физических факторов, влияющих на процесс переноса и позволяющих оценивать риск токсичного поражения людей. Такие модели получили название «diagnostic models» [1,2,5].

**Целью** данной работы является разработка математической модели для оценки уровня загрязнения атмосферы при горении твердого ракетного топлива РС-22 в случае дальнего переноса загрязнителя (масштаб «county»).

**Математическая модель.** Процесс распространения примеси в атмосфере основывается на применении осредненного по высоте переноса  $H$  уравнения Г.И. Марчука [1,3,4]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + Q(t) \cdot \delta(x - x_0) \cdot \delta(y - y_0), \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация примеси ( $CO$ );  $u, v$  – компоненты вектора скорости движения ветрового потока;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты атмосферной диффузии;  $t$  – время;  $Q$  – интенсивность эмиссии;  $x_0, y_0$  – координаты источника эмиссии;  $\delta(x - x_0), \delta(y - y_0)$  – дельта функция Дирака.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работах [1,2].

**Метод решения.** Для численного интегрирования уравнения (1) используется неявная разностная схема расщепления [1,2].

**Практическая реализация модели.** Моделируется следующая ситуация. Полагается, что в результате диверсии на территории Павлоградского химического завода (места расположения хранилищ с твердым ракетным топливом) происходит залповый выброс CO. Прогноз загрязнения атмосферы при данной чрезвычайной ситуации проводится при следующих исходных данных: размеры расчетной области 67км\*62км; интенсивность эмиссии – 18 т; высота усреднения – 600м;  $\sigma = 0$ ; скорость ветра – 7 м/с; значение коэффициентов диффузии  $\mu_x = \mu_y = 3 \text{ м}^2 / \text{с}$ .

**Результаты параметрических исследований.** Рассмотрим результаты моделирования, полученные на базе разработанной численной модели. На приведенных ниже рисунках (рис.4-6) представлена динамика формирования зоны загрязнения в атмосфере для различных моментов времени после выброса загрязнителя.



Рис .4. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 23$  мин

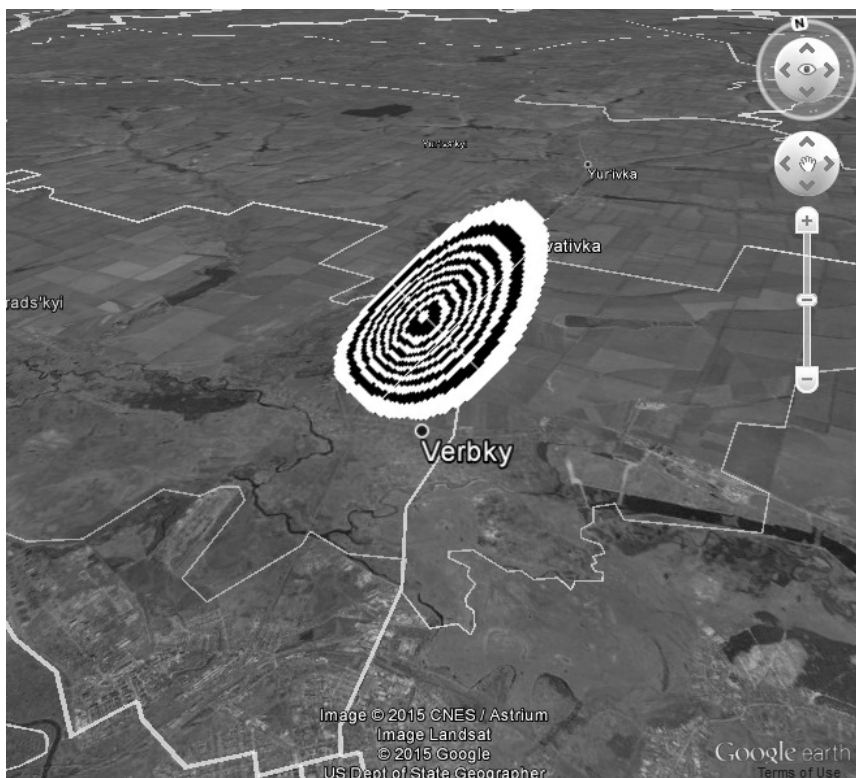


Рис.5. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 40$  мин

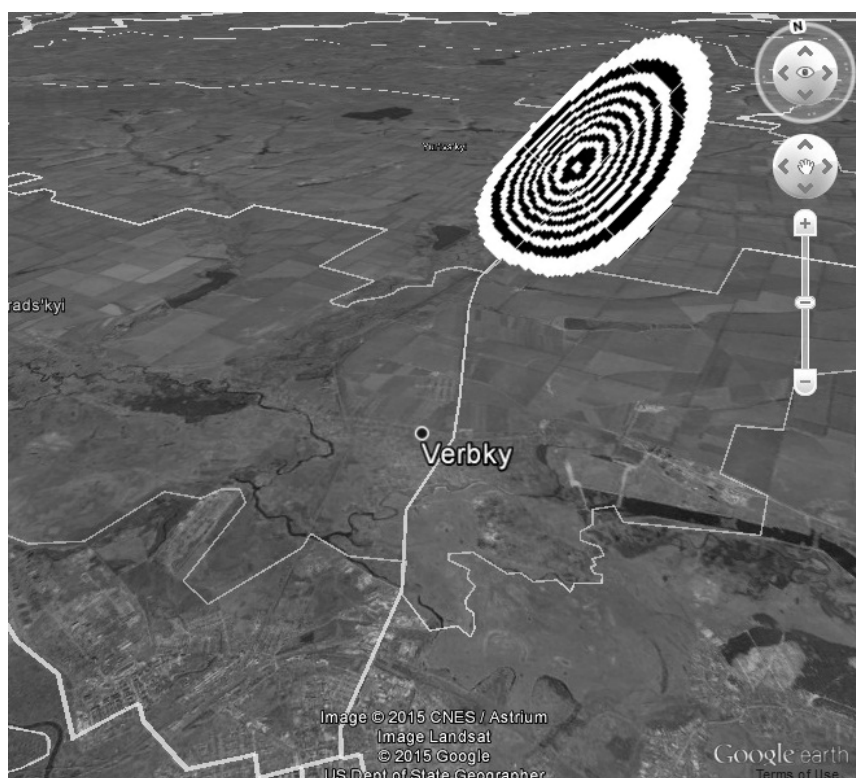


Рис.6. Зона загрязнения атмосферы для момента времени  $t = 49$  мин

Как видно из данных рисунков происходит формирование достаточно обширной зоны загрязнения в атмосфере. Поскольку моделировался

«залповый» выброс, то зона загрязнения имеет вид не шлейфа, а пятна, которое расширяется за счет атмосферной диффузии и сносится в направлении движения воздушных масс. Достаточно быстро зона загрязнения достигает соседнего Юрьевского района и создает угрозу химического загрязнения непосредственно в п.г.т. Юрьевка.

Отметим, что затраты компьютерного времени составили 2 секунды на решение задачи, т.е. предложенная математическая модель позволяет оперативно проводить серийные расчеты, что крайне важно при оценке зон химического заражения когда производится разработка ПЛАСа (план ликвидации аварийной ситуации).

**Выводы.** В статье представлена эффективная численная модель для расчета процесса загрязнения атмосферы при выбросе опасных веществ. Результаты проведенного вычислительного эксперимента, полученные на основе разработанной модели, показали, что в случае диверсии на территории Павлоградского химического завода произойдет опасное загрязнение атмосферы на значительном расстоянии от источника эмиссии и загрязнению подвергнутся прилегающие районы. В этой связи необходимо предусмотреть соответствующие защитные мероприятия, которые бы позволяли снизить риск поражения людей в соседних районах области.

Дальнейшее развитие данной тематики следует проводить в направлении создания 3-D модели аварийного загрязнения атмосферы при чрезвычайной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива.

#### Список литературы

6. Беляев Н. Н. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: Монография / Н. Н. Беляев, Е. Ю. Гунько, П. Б. Машихина. – Д.: «Акцент ПП», 2013. – 159 с.
7. Беляев Н. Н. Моделирование нестационарных процессов аварийного загрязнения атмосферы: Монография / Н. Н. Беляев, А. В. Берлов, П. Б. Машихина. – Д.: «Акцент ПП», 2014. – 127 с.
8. Берлянд М. Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М. Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 273 с.
9. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Марчук Г. И. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
10. Biliaiev M. Numerical Simulation of Indoor Air Pollution and Atmosphere Pollution for Regions Having Complex Topography / M. Biliaiev // Springer: Air Pollution Modeling and its Application XXI, 2012. pp.87 – 91.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 25.01.2015*

## ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В МЕЖАХ М. ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКА МЕТОДАМИ БІОІНДИКАЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС

В роботі наводяться результати екологічного моніторингу якості навколишнього середовища в межах м. Дніпродзержинська, що проводився протягом 2012-2014рр. методами біоіндикації. Наведено динаміку змін екологічного стану в межах міста статистичним та картографічним способами, спираються на результати біотестування. Використовуючи програмне забезпечення ArcGIS-10.1, розроблено аналітичні карти оцінки якості довкілля, за допомогою яких виявлено осередки забруднення і умовно чисті зони в місті.

В работе приводятся результаты экологического мониторинга качества окружающей среды в пределах г. Днепродзержинска, который осуществлялся на протяжении 2012-2014гг. с использованием методов биоиндикации. Приведено динамику изменений экологического состояния в пределах города статистическим и картографическим способами, основываясь на результатах биотестирования. Используя программное обеспечение ArcGis-10.1, разработаны аналитические карты оценки качества окружающей среды, с помощью которых выявлены центры загрязнения и условно чистые зоны в городе.

The paper presents the results of environmental monitoring quality of the environment within the city of Dneprodzerzhinsk, which was carried out during 2012-2014 using methods bioindication. The dynamics of changes in the ecological condition of the city within the statistical and mapping methods, based on the results of the bioassay. Using software ArcGis 10.1 developed analytical maps assessing the quality of the environment in which the centers of pollution found and conditionally clean areas in the city.

**Вступ.** Насадження, які зростають на урбанізованих територіях, постійно відчують на собі негативний техногенний вплив. Тому актуальною задачею є дослідження якості навколишнього середовища промислового міста Дніпродзержинська за життєвим розвитком рослин роду *Populus*, як найбільш розповсюджених на території міста деревних рослин в динаміці, тобто протягом декількох років досліджень. Проведена оцінка дозволяє визначити зони забруднення і місця необхідного термінового озеленення території для відновлення якісного стану міського середовища [1].

Суть методології оцінки якості довкілля полягає в оцінка якості екосистеми в цілому та її компонентів, представлених різними видами живих істот. Особливістю даної методології полягає в тому, що використовуються не екосистемні та популяційні параметри, а показники стану організмів різних видів.

У основі методики, використаної при виконанні даного дослідження, покладена теорія «стабільності розвитку» («морфогенетичного гомеостазу»), розроблена російськими ученими А.В.Яблоковим, В.М.Захаровим і ін. [2]. Ці вчені довели, що стресові дії різного типу викликають в живих організмах зміни гомеостазу (стабільності) розвитку, які можуть бути оцінені по порушенню морфогенетичних процесів. Головними показниками змін гомеостазу морфогенетичних процесів є показники флуктуючої асиметрії –

не спрямованих відмінностей між правою і лівою сторонами різних морфологічних структур, в нормі тих, що володіють білатеральною симетрією. Такі відмінності зазвичай є результатом помилок в ході розвитку організму. За нормальних умов їх рівень мінімальний, зростаючи при будь-якій стресовій дії, що і приводить до збільшення асиметрії. Особливістю стабільності розвитку є те, що вона у великій мірі залежить від загальної генетичної перебудови організму, що особливо важливе при оцінці наслідків радіаційної дії [3].

Для дотримання у промисловому місті екологічних норм планування населених пунктів необхідна адекватна оцінка якості навколишнього середовища. Визначення показників флюктуючої асиметрії листової пластини дерев за методикою проф. Захарова В.М. дозволить проводити екомоніторинг на території промислових міст та надасть можливість оцінити та спрогнозувати зміни стану природного середовища з метою виявлення негативних змін і вироблення рекомендацій з їх усунення або ослаблення [4]. При одночасному використанні геоінформаційних технологій, екомоніторинг зводиться не тільки до накопичення результатів спостережень, також виявляється можливість просторової оцінки локалізації забруднень, що дозволяє комплексно вирішувати питання зниження антропогенного навантаження або цільового використання території населених пунктів (обмеженого використання територій чи їх придатність для рекреації).

**Мета дослідження** – оцінити ступінь змін життєвого розвитку рослин роду *Populus*, як індикатора якості довкілля, та дослідити динаміку цих змін на території м. Дніпродзержинська, використовуючи картографічні методи.

**Задачі дослідження:**

- оцінити показники флюктуючої асиметрії морфологічних ознак дерев, що зростають в різних частинах міста;
- дослідити динаміку ступеня забруднення міського середовища;
- розробити аналітичну карту оцінки якості навколишнього середовища міста Дніпродзержинська.

**Основний матеріал досліджень.**

Для екологічного моніторингу в промисловому місті Дніпродзержинську використаний метод біотестування (метод В.М.Захарова), за яким розраховано величину флюктуючої асиметрії листа рослин роду *Populus*, що зростають на 10 обраних ділянках в межах рекреаційної, селітебної та промислової зон міста. Дослідження проводились з 2012р по 2014р. Розраховані результати флюктуючої асиметрії листа були використані для оцінки якості навколишнього середовища згідно шкали, наведеної у таблиці 1.

Порівняльні результати проведених досліджень за десятьма ділянками представлені у вигляді діаграми на рисунку 1 та свідчать про незадовільні умови якості довкілля в межах усього міста, оскільки середнє за три роки значення показника флюктуючої асиметрії складає 0,077, що перевищує норматив для вкрай несприятливих умов середовища. Проте зазначений показник має тенденцію до зменшення (від 0,080 до 0,071) протягом

дослідженого періоду, що свідчить про поліпшення екологічного стану у місті загалом.

Таблиця 1

Шкала оцінювання якості середовища за результатами величини флюктуючої асиметрії листа рослин

Величина флюктуючої асиметрії листа рослин		Характеристика середовища	Бали
роду <i>Betula</i> (береза)*	роду <i>Populus</i> (тополя)**		
< 0,040	< 0,050	Умовна норма	I
0,040 – 0,044	0,050-0,054	Рослини випробовують слабкий вплив несприятливих чинників	II
0,045 – 0,049	0,055-0,059	Забруднені райони	III
0,050 – 0,054	0,060-0,64	Сильно забруднені райони	IV
> 0,054	> 0,064	Вкрай несприятливі умови, рослини знаходяться в сильно пригніченому стані	V

\* (О.Б.Стрельцов, 2003) [2];

\*\* (О.І.Кравченко, 2013) [5].

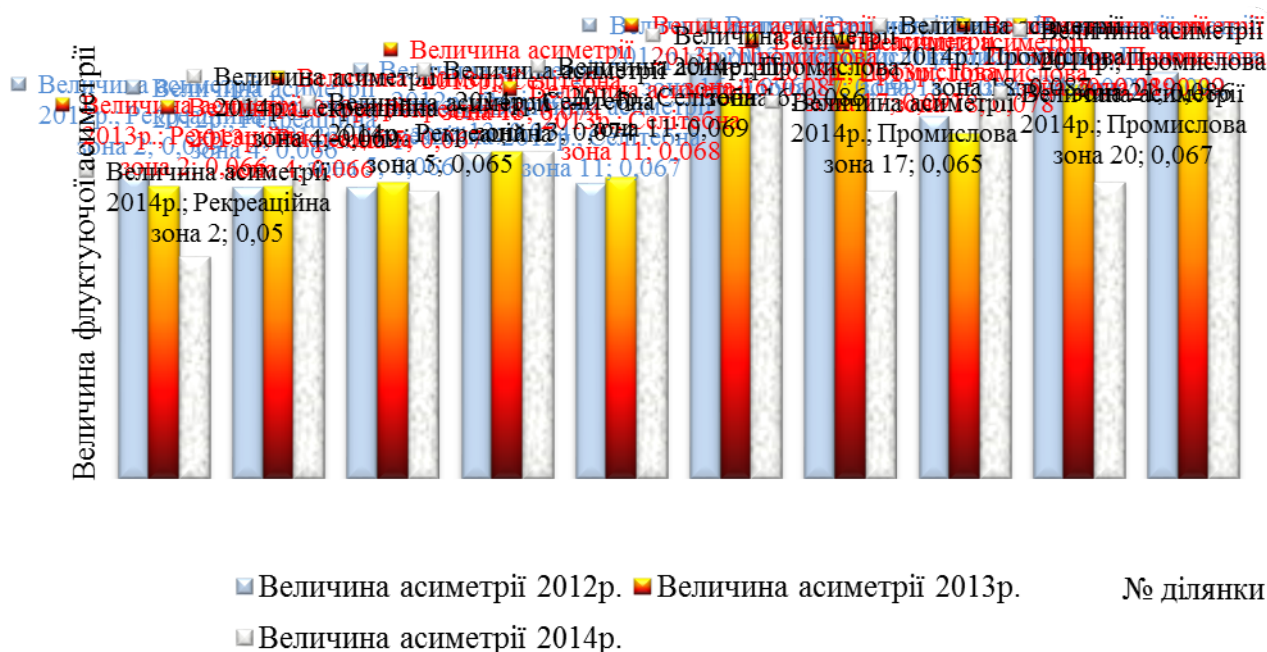


Рис.1. Графік порівняльного аналізу величини флюктуючої асиметрії на території Дніпродзержинська за 2012-2014рр.

Слід зазначити, що показник флуктуючої асиметрії значно відрізняється у відповідних зонах. Так він набуває найбільшого значення у промисловій зоні (середній за три роки 0,086), знижується у селітебній (до рівня 0,071) та в рекреаційній (до рівня 0,064) зонах.

Згідно наведеного на рисунку 1 графіку, проаналізовано коливання середніх величин флуктуючої асиметрії для відповідних зон – в межах рекреаційної (ділянки № 2, 4, 5), селітебної (ділянки №13, 14) та промислової зон (ділянки № 16, 17, 18, 20, 21).

Отже, для промислової зони значення середньої величини флуктуючої асиметрії залишається найвищими протягом трьох років. Отримані результати свідчать про наявність несприятливих антропогенних факторів в межах досліджених ділянок промислової зони: викидів в атмосферу промислових підприємств переважно твердих речовин та оксидів сірки й вуглецю (ділянки № 16, 17, 18, 20); накопичення радіоактивних відходів, які зберігаються без належних санітарно-гігієнічних норм і правил (№21). Всі ці несприятливі фактори позначаються на життєвих формах розвитку рослин, отже пригнічують їх зростання та розвиток.

У промисловій зоні на ділянках № 16, 17, 20 (санітарно-захисна зона багатьох підприємств – переважно заводу залізобетонних виробів, цементного заводу та підприємства з виробництва добрив) середній показник флуктуючої асиметрії зменшився протягом трьох років на 10-35%, що свідчить про зменшення промислового впливу за рахунок скорочення виробництва на даних підприємствах чи удосконалення природоохоронної діяльності (наприклад на ВАТ «Хайдельбергцемент»). В межах дослідної ділянки № 21 спостерігається не суттєве зменшення показника (до 10%), що свідчить про повільне проведення природоохоронної діяльності в межах даної території та адаптаційні властивості рослин. В межах ділянки № 18, що знаходиться в межах санітарно-захисної зони багатьох підприємств, зокрема Дніпродзержинської ТЕЦ, показник флуктуючої асиметрії збільшився майже на 10%, що свідчить про суцільне техногенне навантаження промислових об'єктів на дану ділянку та вичерпності адаптаційних властивостей рослин до постійних вагомих промислових забруднень.

У селітебній зоні показники флуктуючої асиметрії залишаються майже без змін на протязі усього часу досліджень в межах відповідної ділянки, що вказує на антропогенний вплив на дану зону забруднювачами непромислового характеру. Проте якість середовища в межах ділянки № 13 дещо гірша (показники флуктуючої асиметрії більше на 10%), що пояснюється близькістю даної ділянки до промислових об'єктів та їх значного техногенного впливу. Невелике погіршення екологічних умов в межах ділянки № 11 свідчить про зростаючий вплив непромислового характеру (автотранспорт, несанкціоновані звалища побутових відходів, технічні характеристики комунальних мереж тощо), а також занедбаність зелених насаджень загального користування міста.

У рекреаційній зоні міста також спостерігається стабільно незадовільна ситуація протягом трьох років як у лівобережній частині міста (ділянки № 4,



5) значно віддаленій від промислових об'єктів, так і на правобережжі (ділянка №2). Проте в останньому році на ділянці № 2 спостерігається суттєве поліпшення екологічної ситуації та наближення її до умовної норми, що пояснюється гарними умовами для зростання рослин, не дивлячись на забруднення непромислового характеру, як вказувалось вище, та свідчить про потенційну можливість використання даної території за рекреаційним призначенням. З огляду на те, що ділянки № 4, 5 знаходяться в межах водоохоронних зон р. Дніпро і дренажного каналу та постійно відчувають значний вплив рекреантів, екологічні умови в межах зазначених ділянок залишаються вкрай несприятливим, а рослини знаходяться в сильно пригніченому стані, не дивлячись на походження антропогенного впливу. Зазначений факт свідчить про недостатність рекреаційних зон у місті та необхідність їх розширення та удосконалення.

Отже, за бальною системою (див. табл.1) суцільно територія міста Дніпродзержинська характеризується вкрай несприятливими екологічними умовами з оцінкою у V балів, де рослини знаходяться в сильно пригніченому стані.

Проте, з огляду на коливання показників флуктуючої асиметрії в межах відповідних функціональних зон та їх загальне зниження у часі, було проведено просторовий розподіл зазначених показників та проаналізовано їх територіальну динаміку. З цією метою в програмному продукті ArcMap-10.1 розроблено аналітичну карту оцінки якості довкілля м. Дніпродзержинська шляхом нанесення місць розташування дослідних ділянок та зростаючих на них дерев роду *Populus* на існуючу електронну карту міста.

Тобто створено новий шар, який відображає місця розташування дерев, що характеризуються досліджуваними параметрами (показниками флуктуючої асиметрії). Згідно атрибутів (досліджених показників) точкових об'єктів (дерев роду *Populus*) побудована поверхня розподілу, що характеризує якісний стан довкілля у місті не тільки в межах дослідних ділянок, а в цілому на території міста.

Зазвичай для просторового аналізу використовуються ГІС-додатки, що мають спеціалізовані інструменти просторового аналізу для статистичної обробки. Проте у даному випадку використано інструменти *ArcToolbox*, які містять набори інструментів для конвертації, аналізу і керування даними. Зокрема аналіз проведено за допомогою модуля *Spatial Analyst*, який надає широкий набір функцій просторового аналізу і моделювання на основі растрової моделі, включаючи картографічну алгебру, а також інтегрованого вектор-растрового аналізу.

Для розробки аналітичної карти використано функцію *Просторова Інтерполяція* (використання відомих значень тієї чи іншої величини в певних точках для оцінки невідомих значень в невідомих точках) та метод *Природна місцевість* (*NaturalNeighbor*), який знаходить саму близьку підмножину вхідних зразків до запитаної точки і застосовує до них значення, засновані на пропорційних областях, щоб інтерполювати значення. Такий підхід також відомий як *інтерполяція Сібсона* або "захоплюючої області".

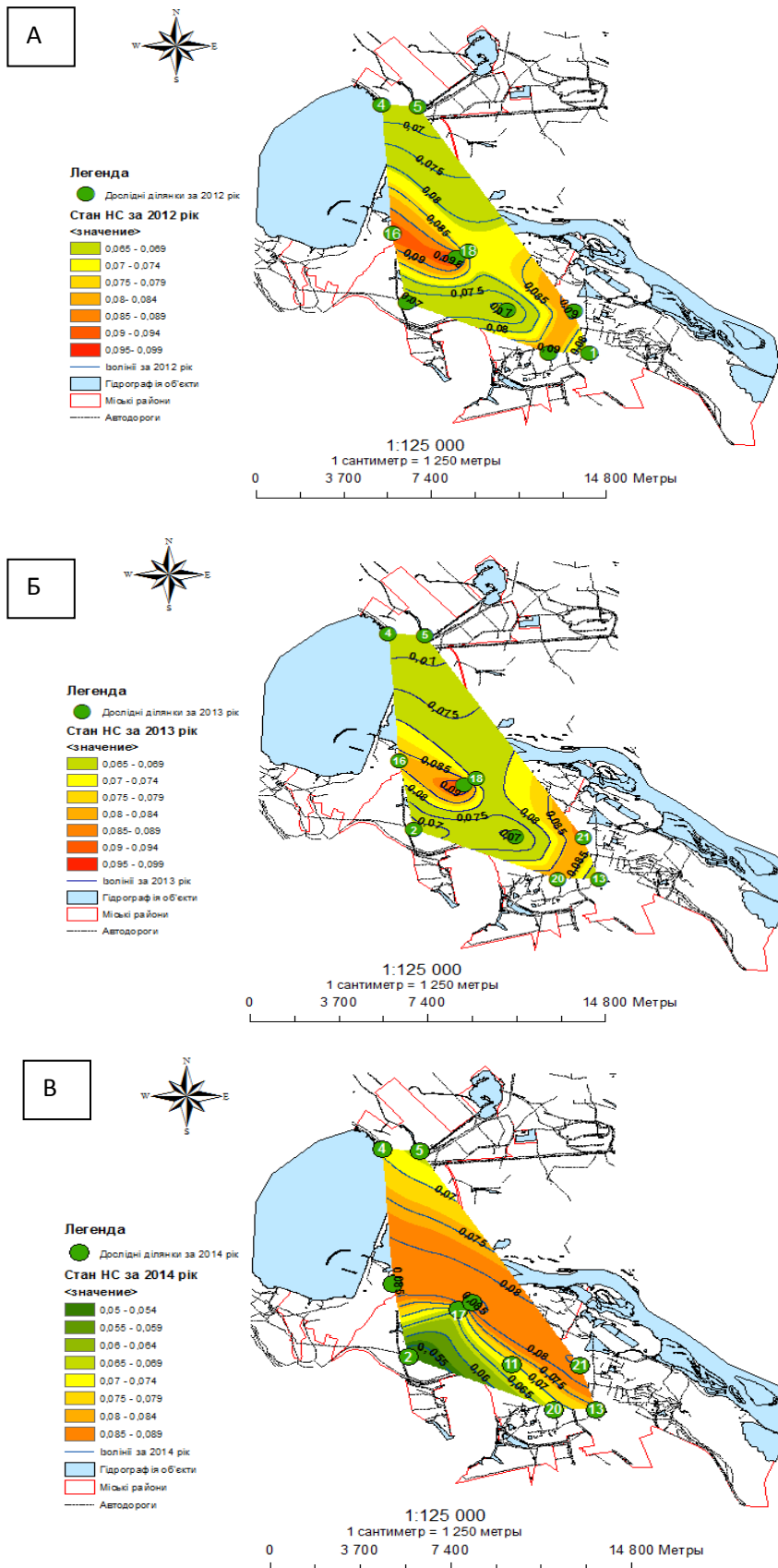
Так, маючи 10 ділянок зі значеннями флюктуючої асиметрії побудовано аналітичні карти оцінки якості стану довкілля у м. Дніпродзержинську для кожного з досліджених років (див. рис. 2).

Виходячи з отриманих карт територіально проаналізовано, що у 2012 р. в межах промислової зони локально спостерігаються зони значного забруднення, а інша територія міста має більш-менш сприятливі екологічні умови з поліпшенням у північному та південному напрямку. Згідно карти 2013 р. зі зниженням забруднення спостерігається суцільне поліпшення екологічного стану у місті, що позначається розширенням більш сприятливих екологічних зон навіть у центральній частині міста. Розглядаючи карту 2014 р. видно, що екологічна ситуація у місті загалом поліпшується, південна його частина характеризується умовною нормою, а в центральній частині міста від однієї промислової зони до іншої з північного заходу до південного сходу спостерігаються несприятливі екологічні умови, хоча і менш агресивні, ніж у попередні роки.

За розробленими аналітичними картами для 2012р. встановлено два основних забруднюючих центри на території міста – центральна частина міста та район Соцміста. За результатами моделювання 2013-2014 рр. при зниженні результатів досліджених параметрів спостерігається згладжування небезпечних забруднюючих центрів на території міста, що характеризує екологічний стан як більш сприятливий, проте недостатньо якісний для зростання рослин, а відповідно і для проживання мешканців на території міста.

**Висновки.** Оцінено показники флюктуючої асиметрії листя дерев роду *Populus*, як індикатора якості довкілля, що зростають у промисловій, селітебній та рекреаційній зоні міста Дніпродзержинська. Для промислової зони значення середньої величини досліджуваного показника є найвищим, що обумовлене значним промисловим впливом; для рекреаційної зони показник знижується у порівнянні з промисловою, але не досягає умовної норми через значне рекреаційне навантаження; а для селітебної зони суттєвих відмінностей від промислової зони не спостерігається через забруднення не промислового характеру (автотранспорт, побутові відходи, санітарно-технічний стан), а також близьке розташована до санітарно-захисних зон підприємств.

Досліджено динаміку ступеня забруднення міського середовища. Визначено незадовільні умови якості довкілля в межах усього міста з тенденцією до його поліпшення протягом дослідженого періоду загалом по місту. Встановлено, що у промисловій зоні поліпшення якості довкілля відбулося за останні три роки на 10-35%, що свідчить про зменшення промислового впливу за рахунок скорочення виробництва на підприємствах міста, удосконалення природоохоронної діяльності; у селітебній зоні якість довкілля залишаються майже без змін на протязі усього часу досліджень, що вказує на антропогенний вплив непромислового характеру та адаптаційні властивості рослин; у рекреаційній зоні міста також спостерігається стабільно незадовільна ситуація протягом трьох років, що вказує на постійний значний вплив рекреантів, що свідчить про недостатність рекреаційних зон у місті та необхідність їх розширення та удосконалення.



А – дослідження 2012р., Б – дослідження 2013р., В - дослідження 2014р.  
 Рис. 2. Електронна карта оцінки якості стану довкілля у м. Дніпродзержинську

Розроблено аналітичну карту оцінки якості довкілля міста Дніпродзержинська, використовуючи програмний продукт ArcMap-10.1 модуль *Spatial Analyst* функцію *Просторова Інтерполяція* метод *Природна місцевість*. Встановлено два основних забруднюючих центри на території міста для 2012р.; для 2013-2014 рр. спостерігається згладжування небезпечних забруднюючих центрів на території міста, що характеризує екологічний стан як більш сприятливий, проте недостатньо якісний для зростання рослин, а відповідно і для проживання мешканців на території міста

#### Список літератури

1. Стольберг Ф.В., Экология города: Учебник. - К.: Либра, 2000. – 520 с.
2. В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов, А.В. Валецький, Н.Г. Кряжева, Е.К. Чістякова, А.Т. Чубінішвілі. Здоров'я середовища: методика оцінювання. — М.: Центр екологічної політики Росії, 2000. — 68 с.
3. Шкиль Ф.Н., Захаров В.М. Применение методики раннего выявления нарушений состояния зеленых насаждений – М., 2003. – 50–54 с.
4. Сюткин В. М. Экологический мониторинг административного региона (концепция, методы, практика на примере Кировской области). — Киров: ВГПУ, 1999. — 232 с.
5. Кравченко О.І., Негалок А. В., Непошивайленко Н.О., Карпенко О.О. Геоінформаційний моніторинг промислової урбосистеми, заснований на результатах біоіндикації розвитку рослин роду *Populus* // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії: Збірник наукових праць. – Х.: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2014. – Вип. 19. – 53-57.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 20.01.15*

УДК 502.175

© А.В. Галата, А.П. Огурцов, В.В. Бринюк

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОБЕЗПЕКИ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ОБ'ЄМНОЇ АКТИВНОСТІ РАДОУ У НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ М. ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКА**

В работе приведены результаты радиоэкологических измерений по которім создана база данных радиационного фона уровня радона в учебных аудиториях вуза.

У роботі наведено результати радіоекологічних вимірювань за которими створена база даних радіаційного фону рівня радону у навчальних аудиторіях ВНЗ.

We present the results of radioecological measurements ktorim a database of background

radiation levels of radon in the classrooms of the university.

**Вступ.** Радон завжди присутній у будинках і його високий вміст може створювати загрозу здоров'ю людей. Він накопичується на нижніх поверхах будівель, особливо на цокольному поверху, у ванних кімнатах та приміщеннях, у кутах домів. З підвищенням рівню над поверхнею землі концентрація радону швидко зменшується.

Комплексні радіаційно-гігієнічні дослідження проводяться у приміщеннях навчальних закладів освіти з метою встановлення відповідності вимогам діючих норм радіаційної безпеки. Але проблемою радіоекологічного моніторингу у закладах освіти є наявність великої кількості кімнат, аудиторій, лабораторій, залів, тощо. Тому дослідження проводяться вибірково і при цьому формується значний масив точкових даних. У нашій роботі опрацьовуються бази даних дослідження радіаційного фону приміщень корпусів ДДТУ нової забудови, створені за результатами моніторингу, який включав контроль рівня вмісту радону,  $\gamma$ - фону та щільності потоку  $\beta$ - частинок.

**Об'єкти і методи дослідження.** Були проведені виміри еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону (ЕРОА), щільності потоку бета-частинок та рівнів потужності поглинутої дози (ППД) гама-випромінювання в повітрі навчальних приміщень Дніпродзержинського державного технічного університету. В університеті навчається майже 5 тисяч студентів, з яких близько 2500 тисяч – на денній формі, також працює 296 науково-педагогічних працівників. Об'єктом дослідження є приміщення навчального корпусу № 5-го корпусу Дніпродзержинського державного технічного університету (ДДТУ). На рисунку 1 наведена схема розташування кімнат першого поверху 5-го корпусу.

**Методи дослідження:** проведення радіометричного контролю рівню радіаційного фону приміщень за допомогою радіометрів-дозиметрів «Сторату» і ДКС-96, радіометра «Альфарад» з використанням метода Маркова; статистичний аналіз.

**Результати роботи.** У роботі проведено радіаційно-гігієнічне дослідження стану приміщень у навчальних корпусах ДДТУ за трьома складовими радіаційного фону: рівень гама-випромінювання, щільність потоку бета-частинок та за величиною рівноважної об'ємної рівноважної активності радону і дочірніх продуктів розпаду. Усі заміри проводилися у трьохкратній повторності, для роботи брали середнє значення величини.

У таблиці 1 наведено результати вимірів рівнів гама-фону і щільності потоку бета-частинок у приміщеннях на першому поверху корпусу із застосуванням радіометра-дозиметра «СТОРА – ТУ».

Встановлено, що найменше значення вимірів рівнів гама-фону у приміщеннях корпусу № 5 ДДТУ складає 0,10 мкЗв/год, найбільше значення – 0,25 мкЗв/год, а середнє значення складає 0,18 мкЗв/год., що не перевищує норми активного значення 0,3 мкЗв/год. Приміщення корпусу за рівнем потужності гама-випромінювання є безпечними.

Проведення вимірів ЕРОА радону і торону із використанням метода Маркова включає в себе заправку фільтра, установку утримувача фільтра в приймачі повітродувного пристрою і запуск прокачування повітря. Після прокачування повітря (до однієї хвилини) проводиться перестановка утримувача фільтра в приймальне гніздо перерахункового пристрою.

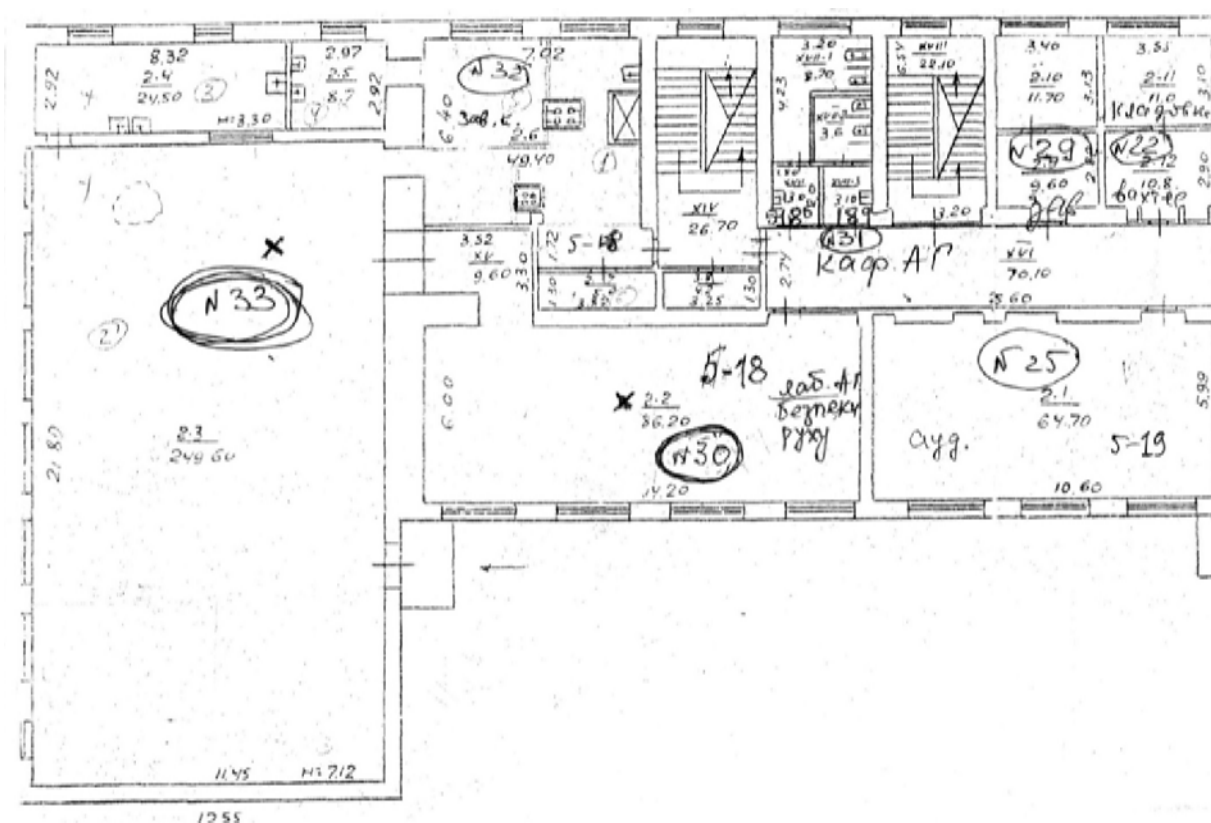


Рис. 1. Схема розташування кімнат 5-го корпусу ДДТУ та точок замірів радіаційного фону (перший поверх)

Після прокачування повітря (до однієї хвилини) проводиться перестановка утримувача фільтра в приймальне гніздо перерахункового пристрою. Процедура обрахунку фільтра здійснюється в приладі автоматично, результати виводяться на табло.

За результатами обробки даних у мікропроцесорі, що вбудований у радіометрі РГА-09М, через деякий час на табло приладу виводяться значення концентрації радону і його дочірніх продуктів у повітрі кімнат. Результати досліджень рівню ЕРОА радону наведено у таблиці 2.

Вміст радону у повітрі приміщень нормується за показником величини еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону, яка не повинна перевищити рівень 100 Бк/м<sup>3</sup>. За результатами проведених досліджень цей показник встановлений у межах норми, відповідно до цього встановлена екобезпека приміщень корпусів навчального закладу.

Таблиця 1

Приклади результатів вимірів рівнів гамма-фону і щільності потоку бета-частинок у 5-му корпусі ДДТУ, перший поверх (кафедра ПМ).

№ точки	№ КАБІНЕТУ	ПРИЗНАЧЕННЯ	$\gamma$ -ВИПРОМІНЮ- ВАННЯ, МКЗВ/ГОД	ЩІЛЬНІСТЬ $\beta$ -ЧАСТИНОК, $10^3/\text{CM}^2\cdot\text{ХВ}$
17	5 - 12	АУДИТОРІЯ	0,18	0,000
18	5 - 16	АУДИТОРІЯ	0,20	0,000
19	5 - 14	ЗАВ. КАФЕДРИ	0,12	0,000
20	5 - 14А	ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЗАЛ	0,17	0,000
21	5 - 14Б	ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ ЗАЛ	0,21	0,000
23	5 - 17	ВИКЛАДАЦЬКА	0,20	0,000
24	5 - 17А	КАБІНЕТ	0,14	0,000
26	5 - 13	АСПІРАТ.	0,20	0,000
27	-	СПОРТИВНИЙ ЗАЛ	0,20	0,000
28	5 - 15	ЛАБОРАТОРІЯ	0,15	0,000
ПРИЛАД:			РКС «СТОРА – ТУ»	

Таблиця 2

Приклад результатів вимірювання ЕРОА радону у приміщеннях цокольного поверху 5-го корпусу ДДТУ

ПОКАЗНИКИ НА ТАБЛО РГА-09М		ФІЛЬТР № 19	ФІЛЬТР № 20	ФІЛЬТР № 22	ФІЛЬТР № 23
		КАБ. № 04	КАБ. № 04А	КАБ. № 01	КАБ. № 12
СА, Бк/м <sup>3</sup>	РА (РО-218)	76.67	68.87	36.38	110.4
СВ, Бк/м <sup>3</sup>	РАВ (РВ-214)	59.95	61.81	65.48	77.60
СС, Бк/м <sup>3</sup>	РАС (ВІ-214)	54.33	58.11	69.48	77.60
СДПР, Бк/м <sup>3</sup>	ЕРОА РАДОНУ	62.09	64.02	68.16	80.37
СДПТ, Бк/м <sup>3</sup>	ЕРОА ТОРОНУ	0	0	0	0
Л, год <sup>-1</sup>	КРАТНІСТЬ ПОВІТРООБМІНУ	0.433	0.177	0	0.657
F	КОЕФІЦІЄНТ РІВНОВАГИ	0.682	0.783	1.577	0.613
С РАДОН, Бк/ м <sup>3</sup>	ОБ'ЄМНА КОНЦЕНТРАЦІЯ РАДОНУ	91.06	0.180	43.21	131.1
N <sub>1</sub> , ІМПУЛЬС	КІЛЬКІСТЬ ІМПУЛЬСІВ	239.0	238.6	225.6	318.0
N <sub>2</sub> , ІМПУЛЬС	КІЛЬКІСТЬ ІМПУЛЬСІВ	180.0	185.6	197.6	233.0
N <sub>3</sub> , ІМПУЛЬС	КІЛЬКІСТЬ ІМПУЛЬСІВ	0	0	0	0
N <sub>4</sub> , ІМПУЛЬС	КІЛЬКІСТЬ ІМПУЛЬСІВ	0	0	0	0
ФОН, ІМПУЛЬС	КІЛЬКІСТЬ ІМПУЛЬСІВ	0	0.013	0.013	0.017

Метою статистичної обробки одержаного масиву даних є створення теоретичної моделі закономірностей розподілу вмісту радону в залежності від висоти розташування приміщення на базі вибіркового точкового даних.

У роботі створено математичну модель розподілу радону у



приміщеннях корпусів ДДТУ на основі фактичних вимірів (вмісту радону,  $\gamma$ -фону та щільності потоку  $\beta$ -частинок).

В основу моделі покладено рівняння дифузійного переносу радону

$$D_e \frac{\partial^2 A(z)}{\partial z^2} + v \frac{\partial A(z)}{\partial z} - \lambda A(z) + \lambda A_\infty = 0 \quad (1)$$

з граничними умовами:

$$A(0) = 0, \quad A(\infty) = A_\infty, \quad (2)$$

де  $A(z)$  – парова активність радону,  $D_e$  – ефективний коефіцієнт дифузії радону,  $v$  – швидкість переносу радону,  $\lambda$  – постійна розпаду радону.

**Висновок.** Проведено радіаційно-гігієнічне обстеження приміщень навчальних корпусів ДДТУ за трьома складовими радіаційного фону: рівнем гамма-випромінювання, щільністю потоку бета-частинок і вмістом радону у повітрі. За результатами радіаційного моніторингу створено базу даних радіометричного контролю, проведено статистичну обробку даних, створено математичну модель зміни вмісту радону на різних поверхах. Встановлено екобезпеку приміщень для проведення навчального процесу у закладі.

#### Список літератури

1. А.В. Галата, О.О. Карпенко, О.М. Швець. Дослідження радіаційного стану м. Дніпродзержинська із застосуванням ГІС-технології // Збірник наукових праць ДДТУ.- 2009. - Вип.3 (13). – С. 146-153.
2. А.В. Галата, О.О. Карпенко, О.В. Дзюба. Контроль радіаційного фону рекреаційних зон лівобережжя (Голубе озеро і прибережна зона водосховища). // Збірник наукових праць ДДТУ.- 2009. - Вип.3 (13). – С. 153 -156.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 20.01.15*

УДК 550.42:546.027

© Молчанов А.И., Сорока Ю.Н., Руденко С.А., Сорока М. Н.

## **КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ В ЖИЛЫХ И АДМИНИСТРАТИВНЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ Г. ЖЕЛТЫЕ ВОДЫ**

Приведены результаты заключительного комплексного радиационного обследования жилых и административных помещений г. Желтые Воды. Получены первичные данные по уровням радиационно-опасных факторов в домах западной части города с домами новой застройки 70-х годов и позднее.

Наведено результати заключного комплексного радіаційного обстеження житлових і адміністративних приміщень м.Жовті Води. Отримано первинні дані за рівнями радіаційно-небезпечних факторів у будинках західної частини міста з будинками нової забудови 70-х років і пізніше.

The results of the final comprehensive radiation survey of residential and office premises of Zhovti Vody. Basic data on the levels of radiation hazards were obtained for homes west of the city with houses of the 70s and beyond.

Ведущая роль радона в формировании коллективной дозы населения является в настоящее время общеизвестным фактом. По данным АМН Украины [1] изотопы радона формируют более 70% дозы облучения населения нашей страны за счет природных и техногенно-усиленных источников радиоактивности. Проблема облучения населения радоном в помещениях особенно остро стоит в старых уранодобывающих городах, где городское строительство происходило одновременно с развитием горного производства.

Показательным в этом отношении является город Желтые Воды (Днепропетровской области) - центр уранодобывающей отрасли Украины, где добыча и переработка урановой руды ведется на протяжении более шести десятков лет. Начиная с 80-х годов прошлого столетия, в городе начали проводить радиационные обследования городской территории и отдельные измерения радона в жилых помещениях. Большую массовость измерения радона и его ДПР в домах города приобрели в период 2001-2005 годов, когда эти работы проводились в рамках целевой государственной программы радиационной и социальной защиты населения города. Результаты радиационных обследований города Желтые Воды в предыдущие годы отражены в работах [2, 3]

**Целью работы** в 2013 году было проведение заключительного комплексного радиационного обследования жилых и административных помещений города, для получения первичных данных по уровням радиационно-опасных факторов в домах для оптимизации радиационной защиты населения города Желтые Воды от природных и техногенно-усиленных источников радиоактивности.

Работа выполнялась ООО «Центр радиэкологического мониторинга» (ООО «ЦРЕМ»), который имеет большой опыт выполнения подобных обследований в г.г. Днепропетровск, Кривой Рог, Днепродзержинск. Обследование выполнялось по решению городской исполнительного комитета и в рамках «Государственной целевой программы радиационной и социальной защиты населения. Желтые Воды на 2013-2022 годы» и охватывало, в основном, западную часть города с домами новой застройки (70-х годов и позднее), где ранее обследования не проводились.

Методикой выполнения комплексного обследования помещений предусматривалось измерение интегральных уровней радона-222 и мощности дозы гамма-излучения в одних и тех же помещениях и дополнялось лабораторными измерениями содержания природных радионуклидов (ПРН) в строительных материалах, из которых построены обследуемые дома.

Измерения уровней эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона-222 в воздухе помещений проводились методом пассивной трековой радонометрии, как и в предыдущих обследованиях [3]. Установка радонометров производилась в квартирах первых этажей (одна или две

квартиры в каждом подъезде). При этом в однокомнатных квартирах радонометры устанавливались в зале, а в многокомнатных - в зале и спальне или в двух спальнях. В административных зданиях (рабочие помещения горисполкома и поликлиники) радонометры также устанавливались на первом этаже. Радонометры экспонировались в течение, примерно, одного месяца в холодное (отапливаемое) время года (весной и осенью).

В качестве трекового детектора в радонометрах использовалась нитроцеллюлозная пленка KODAK LR-115 (Франция). После экспонирования радонометров в обследуемых помещениях, они направлялись в лабораторию, где из них вынимались трековые детекторы и подвергались стандартной процедуре травления в растворе NaOH. После травления и высушивания пленки проводился подсчет треков, зафиксированных ею, с помощью искрового счетчика "АИСТ-2". При расчете объемной активности радона учитывался тот факт, что плотность треков связана с активностью радона линейной зависимостью до величины 4000 треков на 1 см<sup>2</sup>. Все операции по подготовке детекторов к измерениям, их хранению, экспонированию, обработке и расчету результатов выполнялись в соответствии с требованиями методических и нормативных документов [4-5].

Полученные результаты измерений интегральных объемных активностей радона-222 пересчитывались в значения ЭРОА с помощью коэффициента равновесия, равного 0,4 [6].

Измерения мощности дозы гамма-излучения в помещениях проводились с помощью профессионального дозиметра-радиометра ДКС-96М в центре помещения на высоте 1 м от пола, одновременно с установкой радонометра.

Измерения радиоактивности строительных материалов, отобранных в 62 домах проводились в лабораторных условиях с использованием полупроводникового гамма - спектрометра фирмы «ORTEC». При этом определялась эффективная удельная активность материала Аэф по содержанию в нем радионуклидов Ra-226, Th-232 и K-40

Всего за период выполнения работ в 2013 году было обследовано около 850 помещений города. Это самое масштабное обследование за все время проведения таких работ. Как уже было отмечено, все работы проводились в холодное время года, а именно, в апреле и в сентябре – декабре.

Результаты измерения мощности дозы гамма-излучения показали, что ни в одном из обследованных помещений не было обнаружено превышение нормативного уровня 0,44 мкГр/час [6]. Все измеренные значения мощности дозы находились в диапазоне 0,09 - 0,30 мкГр/час.

Результаты радоновых измерений в помещениях приведены на рис.1 и рис.2. На рис.1 показано распределение величин ЭРОА радона-222 по административным помещениям, а на рис. 2 - по жилым помещениям г. Желтые Воды. Представленные данные показывают, что количество жилых помещений с превышением норматива 100 Бк/м<sup>3</sup> [6] по ЭРОА радона-222 составляет около 5% (~50 помещений) от обследованных помещений. Для административных зданий, где работают люди, количество помещений с превышением норматива 60 Бк/м<sup>3</sup> [5] для работников категории «не персонал» составляет около 10% от обследованных помещений.

Максимальное измеренное значение ЭРОА радона-222 для жилых помещений составляет 269 Бк/м<sup>3</sup>, а для административных - 94 Бк/м<sup>3</sup>.

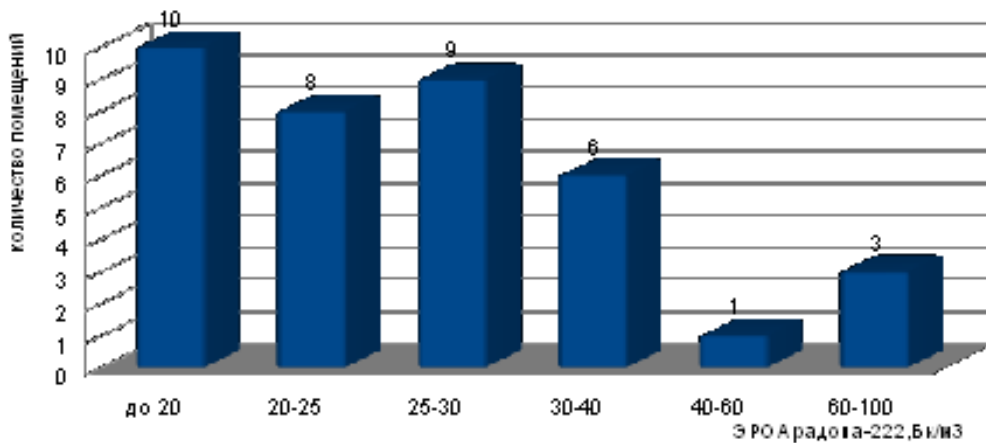


Рис. 1.- Распределение ЭРОА Rn-222 по административным помещениям.

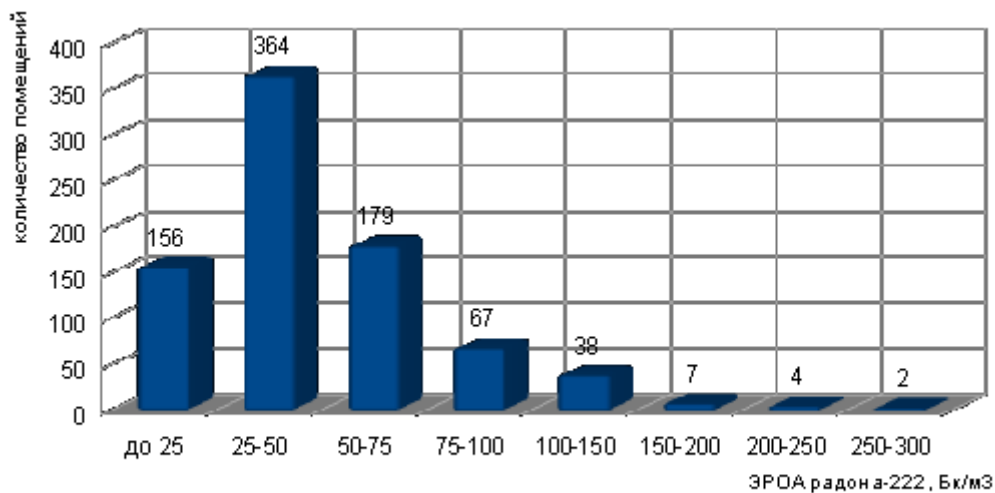


Рис. 2. - Распределение ЭРОА Rn-222 по жилым помещениям

Сравнение полученных в настоящем обследовании результатов с результатами предыдущих обследований в старой части города, где количество превышающих норматив по радону помещений составляло 51%, свидетельствует об относительно благополучной радиационной ситуации в районе новой застройки в западной части города.

Анализ радиоактивности стройматериалов показал, что почти все они являются чистыми в радиационном отношении, так как их эффективная удельная активность  $A_{эф}$  находится в диапазоне 28-209 Бк/кг и не превышает уровня 370 Бк/кг [6]. Исключение составил один образец шлакоблока,  $A_{эф}$  которого равна 418 Бк/кг. Предварительный осмотр дома показал, что из этого шлакоблока сложена только часть строения, другая же сложена красным кирпичом, чистым в радиационном отношении.

**Выводы.** Уровень ЭРОА радону-222 в воздухе превышает нормативное значение в около 5 % жилых помещений из обследованных. Это составляет около 50 помещений.

Обследование установило, что ни в одном из жилых и административных помещений нет превышений норматива по мощности

поглощенной в воздухе дозы гамма-излучения. Диапазон измеренных значений МПД гамма-излучения составляет от 0,09 до 0,30 мкГр/час.

Уровень ЭРОА радона-222 в воздухе, превышает нормативное значение в 10% обследованных помещений административных зданий. Это три помещения морга городской больницы и помещение кабинета старшей сестры отделения переливания крови медико-санитарной части. Максимальное значение отмечено на уровне 94 Бк/м<sup>3</sup>.

Строительные материалы обследованных зданий относятся к 1 классу. Их эффективная удельная активность (Аеф) не превышает 370 Бк/кг и они могут применяться для всех видов строительства без ограничений. Исключение составляет одна проба шлакоблока. Ее эффективная удельная активность равна 418 Бк·кг<sup>-1</sup> и материал относится ко II классу. Жилищное строительство из такого материала запрещено. Необходимость его извлечения уточняется в соответствии с проектом.

Во всех выявленных помещениях с превышением норматива по ЭРОА радона-222 противорадоновые мероприятия могут проводиться только согласно проекту и при этом должны быть обязательно проведены дополнительные измерения в теплый период года для определения уровня среднегодовой величины этого радиационно-опасного фактора. Именно величина этого уровня окончательно определяет вопрос о необходимости проведения противорадоновых мероприятий.

#### Список литературы

1. Pavlenko T.A., Los I.P., Aksenov N.V Indoor 222Radon Levels and Irradiation doses in the Territory of the Ukraine// Radiation Measurements Vol.26 – N4, 1995, 585-591 pp.
2. Y.Soroka, A. Molchanov at all. "The rehabilitation program for territory of town Zhovty Vody after 40 years of uranium ores output" Proc. of the Sixth International Conference on Radioactive Waste Management and Environmental Remediation (ICEM'97), Singapore, 1997, p.773-777
3. Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Павленко. Сорока М.Н., Результаты изучения радиационной обстановки в жилых помещениях города Желтые Воды// Экология и здоровье человека. Охрана воздушного и водного бассейнов. Утилизация отходов. /Труды XIII международной научно-практической. конференции, г. Щелкино, 6-10 июня 2005г. – Харьков, Том 1.-, 2005, с.28 –34.
4. МВК 6.6.2.-063-2000 Методичні вказівки з методів контролю. Вимірювання активності радону-222 у повітрі будинків методом пасивної трекової радонометрії з використанням приладу "Track 2010Z". Міністерство Охорони Здоров'я України. Київ, 2000.
5. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. Державні санітарні правила 6.177-2005-09-02. Видання офіційне МОЗ України, Київ, 2005
6. Методичні рекомендації "Здійснення контролю за дотриманням радіаційно-гігієнічних параметрів у будівництві" Затверджені Наказом МОЗ України № 883 від 29.12.2008

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 20.01.15*

## Відомості про авторів

**Белоброва Елена Владиславовна** – аспірант кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій і метрології ГВУЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Беляев Николай Николаевич** - д.т.н., професор, зав. кафедрою «Гідравліка і водоснабження», Днепропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна

**Беляева Виктория Витальевна** - к.т.н., доцент кафедри «Аерогідромеханіка і енергомасоперенос», Днепропетровський національний університет ім. Олеса Гончара

**Берлов Александр Викторович**, соискатель, кафедра «Гідравліка і водоснабження», Днепропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка Лазаряна

**Білашенко Ольга Геннадіївна** - аспірант кафедри геофізичних методів розвідки, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Бринюк Вікторія Віталіївна** – студент Дніпродзержинського державного технічного університету

**Бучавый Юрий Владимирович** - асистент кафедри екології Національного горного університету.

**Галата Альона Володимирівна** – к.х.н., доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету

**Демиденко Анна Сергеевна** - аспірант кафедри гідрометеорології і геоєкології, Днепропетровського національного університету ім. О. Гончара

**Доценко Лариса Владленовна**- к.б.н., доцент кафедри гідрометеорології і геоєкології, Днепропетровський національний університет ім. О. Гончара

**Журавель Анастасія Володимирівна** – студент Дніпродзержинського державного технічного університету

**Зберовский Александр Владиславович** – д.т.н., професор, зав. кафедрою екології і охорони оточуючої середовища Днепропетровського державного технічного університету

**Зберовский Виктор Александрович** – аспірант кафедри екології і охорони оточуючої середовища Днепропетровського державного технічного університету

**Ишков Валерий Валериевич** - к.г.-м.н., доцент., зав. кафедрою мінералогії та петрографії ГВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Кобзарь Анастасія Андріївна** – студент Дніпродзержинського державного технічного університету

**Колесник Валерий Евгеньевич** - д.т.н., професор кафедри екології Національного горного університету.

**Корсун Валерий Иванович** – д. т. н., професор кафедри інформаційно-вимірних технологій і метрології ГВУЗ «Національний горний університет»

**Кривощок Вячеслав Иванович** - к.т.н., доцент кафедри збагачення корисних копалин ДВНЗ “Національний гірничий університет”

**Кулик Богдан Иванович** - асистент кафедри електричних систем і мереж Чернігівського національного технологічного університету.

**Кушнир Евгений Георгиевич** - к.т.н., доцент кафедри опалення и вентиляції и качества воздушной среды ГВУЗ ПГАСА

**Левчук Игорь Леонидович** - к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій и метрології ГВУЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Манко Геннадий Иванович** - к.т.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій и метрології ГВУЗ «Український державний хіміко-технологічний університет»

**Мацюк Ірина Миколаївна** - к.т.н., доцент кафедри основ конструювання механізмів і машин ДВНЗ «Національний гірничий університет»

**Машихина Полина Борисовна** - к.т.н., доцент кафедри «Гідравліка и водоснабжение» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

**Миринова Инна Геннадиевна** – к.т.н., доцент кафедри екології ГВУЗ «Національний горний університет»

**Михайлов Александр Юрьевич** - магистр кафедри екології Національного горного університета.

**Молчанов Александр Иванович** – начальник вимірювальної лабораторії ООО «Центр радіоекологічного моніторингу», м. Жовті Води.

**Мунтян Лилия Яковлевна** - соискатель кафедри «Гідравліка и водоснабжение», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

**Непошивайленко Наталія Олександрівна** – к.т.н., доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету

**Ночвай Владимир Иванович** - к.т.н., доцент, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г. Е. Пухова НАН України

**Огурцов Анатолий Павлович** – д.т.н., професор кафедри металургії сталі Дніпродзержинського державного технічного університету

**Полищук Сергей Зиновьевич** - д.т.н., проф., зав. кафедрой опалення, вентиляції и качества воздушной среды, г. Днепропетровск.

**Руденко Сергій Анатолійович** - провідний інженер ООО «Центр радіоекологічного моніторингу», м. Жовті Води.

**Савотченко Елена Николаевна** – аспірант кафедри екології и охраны окружающей среды Днепропетровского государственного технического университета

**Сорока Михайло Миколайович** - провідний інженер ООО «Центр радіоекологічного моніторингу», м. Жовті Води.

**Сорока Юрій Миколайович** - к.т.н., ст. викладач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету.

**Труфанова Марина Олександрівна** - асистент кафедри мінералогії та петрографії ДВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ

**Тяпкін Олег Костянтинівич** – д.г.н., Інститут проблем природокористування та екології НАН України (ІППЕ НАН України)

**Цыганкова Светлана Григорьевна** – ст. преподаватель кафедри «Гідравліка и водоснабжение» ГВУЗ "Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры"

## З М І С Т

1	<b>В.В. Ишков, Э.А. Светличный, М.А. Труфанова</b> О минеральном составе уролитов жителей города Днепропетровска.....	5
2	<b>П.С.Пащенко</b> Особенности макронарушенности в осадочных породах.....	15
3	<b>О.К. Тяпкін, О.Г. Білашенко</b> До питання комплексування геолого-геофізичних методів в екологічному моніторингу територій, прилеглих до сховищ промислових відходів .....	19
4	<b>И.Н. Гаркуша, Г.Н. Кодола</b> Метод выделения сельскохозяйственных полей по данным спутника Landsat-8.....	27
5	<b>Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова</b> Математическое моделирование процесса вентиляции тупиковой подземной выработки.....	35
6	<b>В.А. Зберовский</b> Оперативная оценка последствий загрязнения атмосферы выбросами горно-металлургического комбината на основе геоинформационных технологий.....	41
7	<b>А.В. Зберовский, Е.Н. Савотченко</b> Экологическая оценка воздействия пылегазовых выбросов при взрывных работах в карьерах.....	51
8	<b>В.Е. Колесник, Ю.В. Бучавый, А.Ю. Михайлов</b> Мониторинг приоритетных загрязнителей атмосферы Днепропетровска.....	58
9	<b>Б.И. Кулик</b> Управление реактивной мощностью в действующих электрических системах с учетом функциональных связей между параметрами режима.....	67
10	<b>И.Г. Миронова</b> Состояние атмосферного воздуха вокруг железорудной шахты расположенной в черте города.....	73
11	<b>И.Л. Левчук, Г.И. Манко</b> Определение параметров математических моделей с использованием комбинированных итерационно-нейросетевых алгоритмов.....	79
12	<b>И.Л. Левчук, Е.В. Белоброва, В.И. Корсун</b> Принципы интеграции специального программного обеспечения информационно управляющих систем в современные Scada системы.....	84
13	<b>Е.Г. Кушнир</b> Анализ взаимосвязи температуры газовых выбросов с приземными концентрациями загрязняющих веществ.....	91
14	<b>А.С. Демиденко, Л.В. Доценко, С.З. Полищук</b> Разработка математической модели оценки риска превышения среднесуточных предельно допустимых концентраций в системе экологического мониторинга города.....	95
15	<b>В.І. Кривощоків, І.М. Мацюк</b> Переробка та утилізація буровугільних шлаків.....	100
16	<b>С.Х. Авраменко, О.І. Ненашева, Ю. І. Коноплянка, Г.В. Артенюк</b> Оцінка кількісного складу побутових відходів промислового міста та визначення системи поводження з ними.....	109
17	<b>В.В. Слесарев, А.В.Миргородский</b> Методы и алгоритмы	



17	<b>В.В. Слесарев, А.В. Миргородский</b> Методы и алгоритмы прогнозирования аэрогазовой ситуации на шахтах.....	116
18	<b>Н.Н. Беляев, П.Б. Машихина, Л.Я. Мунтян</b> Моделирование процесса загрязнения атмосферы от подвижного состава.....	126
19	<b>Н.Н. Беляев, В.И. Ночвай</b> Математическое моделирование процессов загрязнения атмосферы в региональных задачах экологической безопасности.....	131
20	<b>Н.Н. Беляев, С.Г. Цыганкова</b> Расчет аэроионного режима в помещении и в рабочей зоне на базе численной модели.....	137
21	<b>В.В. Беляева, А.В. Берлов</b> Численное моделирование загрязнения атмосферного воздуха при аварии на химически-опасном объекте...	143
22	<b>Н.О. Непошивайленко, А.А. Кобзарь, А.В. Журавель</b> Екологічний моніторинг якості навколишнього середовища в межах м. Дніпродзержинська методами біоіндикації з використанням ГІС.....	149
23	<b>А.В. Галата, А.П. Огурцов, В.В. Бринюк</b> Дослідження екобезпеки за показниками об'ємної активності радону у навчальних закладах м. Дніпродзержинська.....	156
24	<b>А.И. Молчанов, Ю.Н. Сорока, С.А. Руденко, М.Н. Сорока</b> Комплексные исследования радиационной обстановки в жилых и административных помещениях г. Желтые Воды.....	161

**Збірник наукових праць  
Національного гірничого  
університету № 47**

Підп. до друку 26.03.2015. Формат 60×84/16.  
Ум. друк. арк. 11,4. Обл.-вид. арк. 11,4.  
Тираж 100 прим. Зам. № 765

Підготовлено до видання та видруковано  
у Державному ВНЗ «НГУ»  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК № 1842  
від 11.06.2007р.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19



