

**Міністерство освіти і науки,  
молоді та спорту України  
Державний вищий навчальний заклад  
«Національний гірничий університет»**

**Збірник наукових праць  
Національного гірничого університету**

**№ 40**

**Дніпропетровськ  
2013**

УДК 622 (06)

Засновник та видавець  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Рік заснування – 1999

**Збірник наукових праць НГУ.** — Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2013 — № 40 — 235 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 № 5 від 28.05.2013 р.)

Комп'ютерна верстка і набір – С.Ф. Гупало

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

© Державний ВНЗ «НГУ», 2013

### **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*

Гуменик І. Л. – д.т.н., проф.  
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.А. – 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*

Нагорний Ю.М. – д.г.м.н., проф.  
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..  
Блохін С.Є. – 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.  
Зайка В.Т. – 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.  
Слесарев В.В. – д.т.н., проф.  
Алексеев 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.

#### *Адреса редакції:*

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

## 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 использованных источников** - 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. (056) 726-77-04 **Зберовский Александр Владиславович**

## ПРИРОДНІ РІЗНОВИДИ ХРОМОВИХ РУД КАПІТАНІВСЬКОГО РОДОВИЩА ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ПЛАТИНОНОСНОСТІ

Капітанівське родовище розглядається як об'єкт із переважним розвитком платиновмісних хромових руд. На прикладі Капітанівського родовища оцінено ресурси платинометальної хромітоносною формації і показано перспективу хромітоносних ультрабазитів Середнього Побужжя.

Капитановское месторождение рассматривается как объект с преимущественным развитием платиносодержащих хромовых руд. На примере Капитановского месторождения оценены ресурсы платиноидов хромитоносной формации и показано перспективу хромитоносных ультрабазитов Среднего Побужья.

The Kapitanovskoe deposit is considered as an object with primary development of platinum-bearing chromium ores. The resources of PGE mineralization in chromite formation were estimated on the example of Kapitanovskoe deposit and the prospect of chromium-bearing ultramafic massifs in Middle Bug area is showed.

**Вступ.** Капітанівський масив дайкоподібної форми складений ультраосновними породами, в тій чи іншій мірі насичений хромшпінелідами, що утворюють рудні тіла. Основною особливістю масиву являється його шліростругаста будова. Шліровидні смуги масиву утворені аподунітовими серпентинітами, перидотитами, метасоматитами (карбонатитова формація) з різною насиченістю хромшпінелідів, аж до утворення прошарків суцільних хромітів [1].

В межах шліровидних смуг по інтенсивності вкрапленості і характеру розподілу хромітових агрегатів виділені наступні природні різновиди руд:

I – суцільні руди з масивною текстурою і вмістом  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , більше 35 %, руди не потребують збагачення;

II – вкраплені руди, мають різновиди:

- густо вкраплені (прожилкуваті) руди з плямистою текстурою і вмістом,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  20–35 %, руди легко збагачуються гравітаційним методом;

- вкраплені руди з сітчастою (петельчастою) текстурою і вмістом  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  10–20 %, руди збагачуються гравітаційно-магнітним методом;

- вкраплені руди з рівномірно вкрапленою текстурою і вмістом  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  6–10 %, руди збагачуються гравітаційним методом.

Вперше, широкомасштабне вивчення хімічного складу хромшпінелідів за природними різновидами руд дозволило виявити загальні риси хімізму рудних зон. Хромшпінеліди Капітанівського родовища представлені хромпикотитом. В різних текстурно-структурних різновидах руд хромпикотит має характерні співвідношення  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ . Встановлено, що склад хромпикотиту закономірно змінюється з нарощуванням інтенсивності вкрапленості хромшпінелідів при переході однієї текстурно-структурної різновидності руд в другу.

Основна особливість зміни хімізму мінералу заключається в збільшенні вмісту  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  і  $\text{MgO}$  з одночасним зниженням вмісту  $\text{FeO}$  при переході від бідних руд до багатих суцільних і густо вкраплених руд. Вміст  $\text{Al}^{3+}$  в рудах не має контраст-

ної приуроченості до якої-небудь текстурної різновидності руд і коливається від 11,1 до 14,7 (% мас.). Частка (% мас.) MgO збільшується від 4,6 в хромшпінелідах руд з рівномірно вкрапленою текстурою до 14,4 в хромшпінелідах суцільних руд з масивною текстурою. Частка (% мас.) FeO зменшується від 20,2 в хромшпінелідах руд з рівномірно вкрапленою текстурою до 11,3 в суцільних рудах з масивною текстурою і в густо вкраплених рудах з плямистою текстурою.

Другою характерною особливістю хромшпінелідів є зональність будови їх вкрапленості у вміщуючих серпентинітах і карбонатитах. У вміщуючих породах з промисловою концентрацією хромшпінелідів зональність в будові зерен не спостерігається. Зональність обумовлена різницею хімічного складу хромшпінелідів – в центрі і на периферії зерна. Вміст Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в зональних хромітах вміщуючих порід залишається постійним в центральній і периферійній частках зерна і коливається від 41,6 до 44,5 (% мас.);

- вміст MgO – для центральної частки зерна складає 4,2–5,2 для периферійної – 1,8–2,1 (% мас.);

- вміст FeO – в центральній і периферійній частках зерна коливається в невеликих межах від 25,8 до 28,4 (% мас);

- вміст Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – в центральній частці зерна складає 16,7–18,5 в периферійній – 4,6 до 18,5 (% мас.).

При збільшенні вмісту в хромшпінелідах Cr<sup>3+</sup> і одночасним збільшенням густини вкрапленості проходить посилення концентрації хрому від бідних рівномірно вкраплених руд до їх суцільного агрегату. В результаті цього двохстороннього процесу найбільша кількість хрому концентрується в зернах максимального розміру в шлірах суцільних руд з масивною текстурою.

Тому, хімізм хромшпінелідів дозволяє припустити, що хромшпінеліди в промислового хромовому зруденінні і акцесорні хромшпінеліди у вміщуючих породах належать до різних мінеральних генерацій.

**Мета роботи** – на прикладі Капітанівського родовища оцінити ресурси хромітових руд та супутнього платинометального зруденіння хромітоносних ультрабазитів Побужжя.

Перші відомості про наявність платиноїдів наведені О.Б. Фомінін та О.О. Юшиним, а дані що до промислових концентрацій платини (2,5 г/т) і паладію (2,0 г/т) в літературі були описані Г. Д. Лепіговим і А. П. Василенко [2, 3]. Нами було відібрано близько 2500 дублікатів проб і вивчений керн по 10 свердловинах. Всі дублікати проб проаналізовані за допомогою емісійного квантометричного аналізу (ЕКЕА) на Au, Ag, Pt, Pd, частина з них додатково аналізувалася на рідкісні платиноїди. Найбільш поширені аномалії Pt (17 %), паладію (5 %), рутенію (11 %) та іридію (6 %). Частина виявлених аномалій по Pt і Pd завірена пробірним аналізом з атомно-абсорбційним закінченням. Аномалії родію зустрінуті в кількості до 1 %, осмію – 0,2 %, Au – 17 %.

За даними ЕКЕА максимальні концентрації по цих елементах складають: Pt-1, 01 г/т, Pd-1, 76 г/т, Ir-1, 36 г/т, Ru-0, 57 г/т і Au більше 1 г/т. При цьому рутеній, як правило, тісно асоціює з хромітовою мінералізацією, але не залежить від вмісту Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Також, більшість хромітових тіл як в серпентинітах, так і в карбонатитах на контактах з вміщуючими породами збагачені платиною, паладі-

ем і золотом [4]. Їх концентрації не залежать від потужності хромітових тіл, однак спостерігається збільшення кількості аномалій і концентрації платиноїдів від південної околиці до центру масиву. Як правило, аномалії платиноїдів тягнуться до крайових, і особливо до лежачих боків хромітових тіл. Хромітові руди, що містять аномалії елементів платинової групи (ЕПГ), вивчалися під оптичним мікроскопом, а потім на електронному мікроскопі з мікроаналізатором.

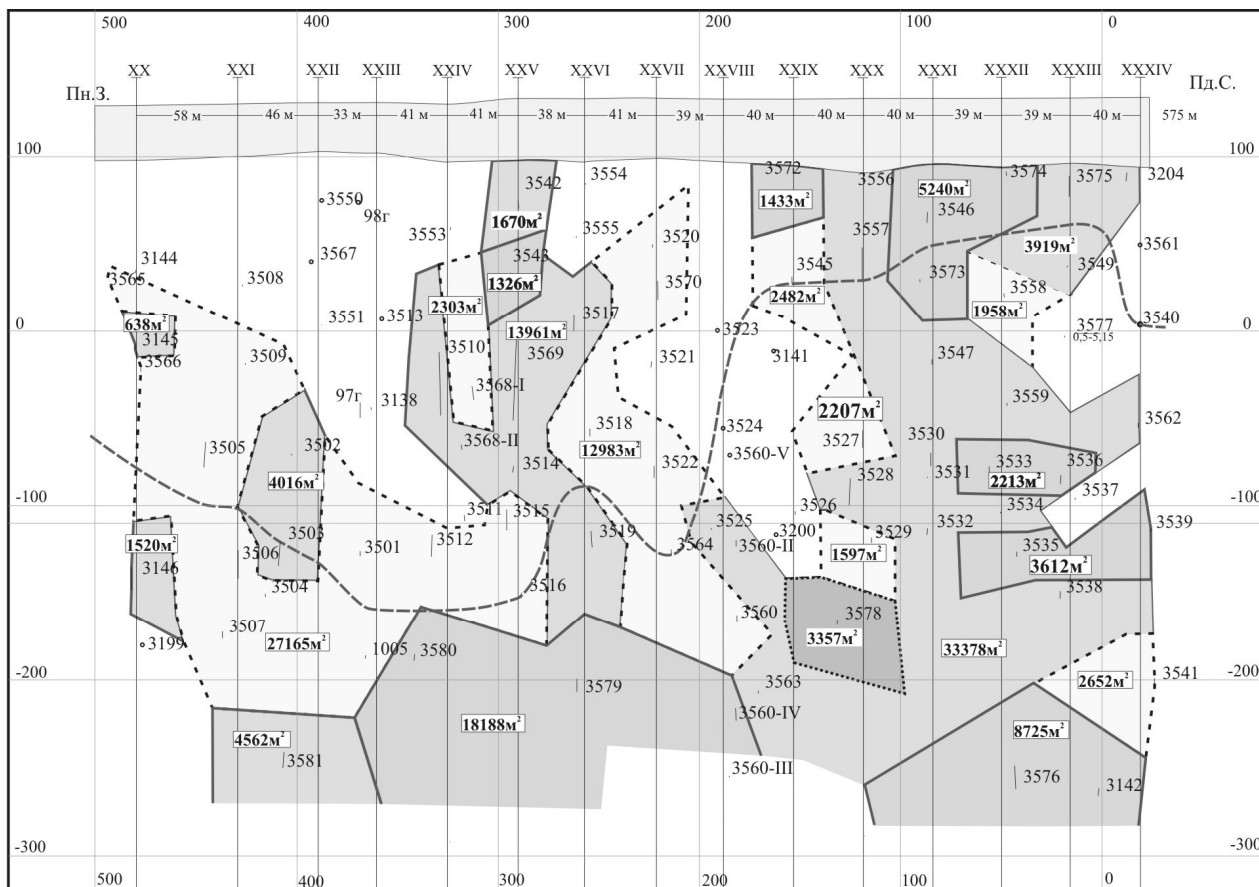
Під оптичним мікроскопом аномальні по ЕПГ хромітові руди виділяються з кількома підвищеним вмістом високовідсвічуючих рудних мінералів. Серед них на електронному мікроскопі діагностовані власне мінерали платиноїдів і сульфоарсеніди. Серед останніх визначені: герсдорфіт (NiAsS), міллерит (NiS), пентландіт [(Fe,Ni)<sub>9</sub>S<sub>8</sub>] муахерит, нікелін (NiAs), тучекит (Ni,Sb<sub>2</sub>S<sub>8</sub>) і мишьяквміщуючий тучекит. Серед власних мінералів платиноїдів найбільше поширення має лаурит (RuS<sub>2</sub>), ірарсит (IrRuRh, Pd) AsS, в меншій мірі сперилліт (PtAs<sub>2</sub>), андуїт (RuAs<sub>2</sub>), іридосміт (80 > Os > 55; Ir > 45; Ru > 10), самородна і залізіста платина, ізоферроплатина, не індефіційовані за складом родійвмісні, рутеній-родій-іридієві арсенідні, паладій-сульфоарсенідні фази і самородні сплави, паладієсте і самородне золото. Більша частина зерен платиновмісних мінералів знаходиться всередині зерен хроміту, маючи розмір 1–5 мкм, рідко вони досягають 10 мкм і більше. Зерна, включені в хромітах, мають завжди рівні грані, ідіоморфну або гіпідіоморфну мікроструктуру (з добре помітною огранкою), овальну або округлу форму, нагадуючи структуру розпаду твердих розчинів.

У силікатної матриці середній розмір платиновмісних мінералів дещо більший (3–8 мкм), а окремі зерна по подовженню досягають 20–25 мкм до 170 мкм. Поза хромових зерен мінерали платиноїдів мають чітко виражену ознаку корозії, можуть частково або повністю роз'їдатися серпентином і перевідкладатися з утворенням ідіоморфних зерен з рівними некородованими краями.

Відмінною особливістю є підвищені фонові вмісти рутенію. Ця тенденція виразно посилюється в хромітових рудах, де середній вміст рутенію становить близько 210 мг/т. Для перевірки достовірності даних визначення ЕКЕА в геологічній службі Фінляндії проводився по 17 пробах хромових руд контроль виявлених фонових значень ЕПГ методом індуктивно зв'язаної плазми. Середні значення ЕПГ по всьому родовищу (середньозважене по всіх окремих ділянках), розраховані на підставі результатів ЕКЕА практично збігаються з даними ІСП і за сумою платиноїдів становлять, незалежно від різновидів хромових руд, 0,325 г/т. Виявлена особливість дозволяє в першому наближенні оцінити на геохімічному рівні ресурси платинометальної мінералізації. Для цього нами наведені дані розвідки з оцінки запасів хромових руд на південній ділянці Капітанівського родовища, де за результатами бурової розвідки, виділено 4 рудних тіла хромових руд. Бурова розвідка проведена бурінням нахилених колонкових свердловин. Відстань між профілями коливається від 33 м до 58 м, середня складає 41 м. Всього розбурено 15 профілів. По кожному рудному тілу побудована вертикальна проекція з розподілом геометризованого контуру хромових руд на блоки природних типів за вмістом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (рис. 1–4).

**Рудне тіло № 1.** Геометризований контур промислових руд тіла № 1 спирається на рудні перетини 68 свердловин (рис. 1). Тіло № 1 представлене жи-

лою складної будови з нерівномірною дійсною потужністю, що коливається від 0,3 м до 13,1 м, середня потужність 2,4 м і нерівномірним вмістом  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , що коливається від 6,2 до 37,5 %, середній вміст  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  16,12 %.



УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ









- |   |  |
|---|--|
|  Масивні (суцільні) руди з вмістом $\text{Cr}_2\text{O}_3$ більше 35%, не потребують збагачення                        |  1685м <sup>2</sup> Площі блоків, м <sup>2</sup> |
|  Густовкраплені (прожилкуваті) руди з вмістом $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 20-35%, легко збагачуються гравітаційним методом |  Підшо́ва кори вивітрювання                      |
|  Вкраплені руди з вмістом $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 10-20%, збагачуються гравітаційно-магнітним методом                  |  3542 Рудні перетини                             |
|  Рідковкраплені руди з вмістом $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 6-10%, збагачуються гравітаційно-магнітно-флотатійним методом   |  3550 Безрудні свердловини                       |

Рис. 1. Вертикальна проекція рудного тіла № 1 з розподілом геометризованого контуру хромових руд на блоки природних різновидів за вмістом  $\text{Cr}_2\text{O}_3$

До горизонту –110 м на профілі XXIV і –142 м на профілі XXIX, рудне тіло № 1 представлене трьома стовпами з складними контурами. Вісь першого стовпа проходить по профілю XXI, другого стовпа – по профілю XXV і третього – по профілю XXXI. Глибше указаних горизонтів (–110 і –142 м) усі три стовпи зливаються в один неперервний поклад, що просліджується між профілями XX–XXXIV на 540–575 м у вигляді стрічкоподібної жили. Ширина першого стовпа 85–175 м, ширина другого стовпа коливається від 40 до 155 м, ширина третього стовпа – від 100 до 225 м.



За типами руд виділено 23 блоки підрахунку запасів площі яких відповідно складають: 3357 м<sup>2</sup> (масивні руди, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> більше 35 %), 40737 м<sup>2</sup> (густовкраплені руди, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20–35 %), 63664 м<sup>2</sup> (вкраплені руди Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10–20 %) і 5 3347 м<sup>2</sup> (рідковкраплені руди, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6–10 %). Загальна площа 1-го рудного тіла – 16110 м<sup>2</sup>, один свердловинний перетин характеризує площу 2369 м<sup>2</sup>.

Запаси руди 1-го рудного тіла складають 1202232 т, в тому числі за типами руд відповідно (т): 19336, 263161, 572339 і 347396; у відсотках відповідно (%): 2; 22; 47; 29.

**Рудне тіло № 2** простягається паралельно рудному тілу № 1 у вигляді жили (рис. 2). Геометризовані контури промислових руд тіла № 2, між профілями XX–XXIX, представлені двома стовпами, з'єднаних на профілі XXIV смугою потужністю в 25 м. На глибині 170–245 м (відповідно горизонти –40 і –112 м), між рудними стовпами на профілі XXIV виділене безрудне вікно за формою прямокутного трикутника, висота якого рівна 45 м.

Між горизонтами –110 і –164 м та між профілями XXI і XXIX, стовпи зливаються в суцільний поклад і простягаються на 300 м, а глибше горизонту –164 м рудний поклад знову розділяється на два стовпи. Вісь одного стовпа проходить по профілю XXII, ширина стовпа 48 м, – нахилений у східні румби. Другий стовп просліджується на глибині між профілями XXV–XXX без ознак виклинювання і заслуговує розвідки в майбутньому.

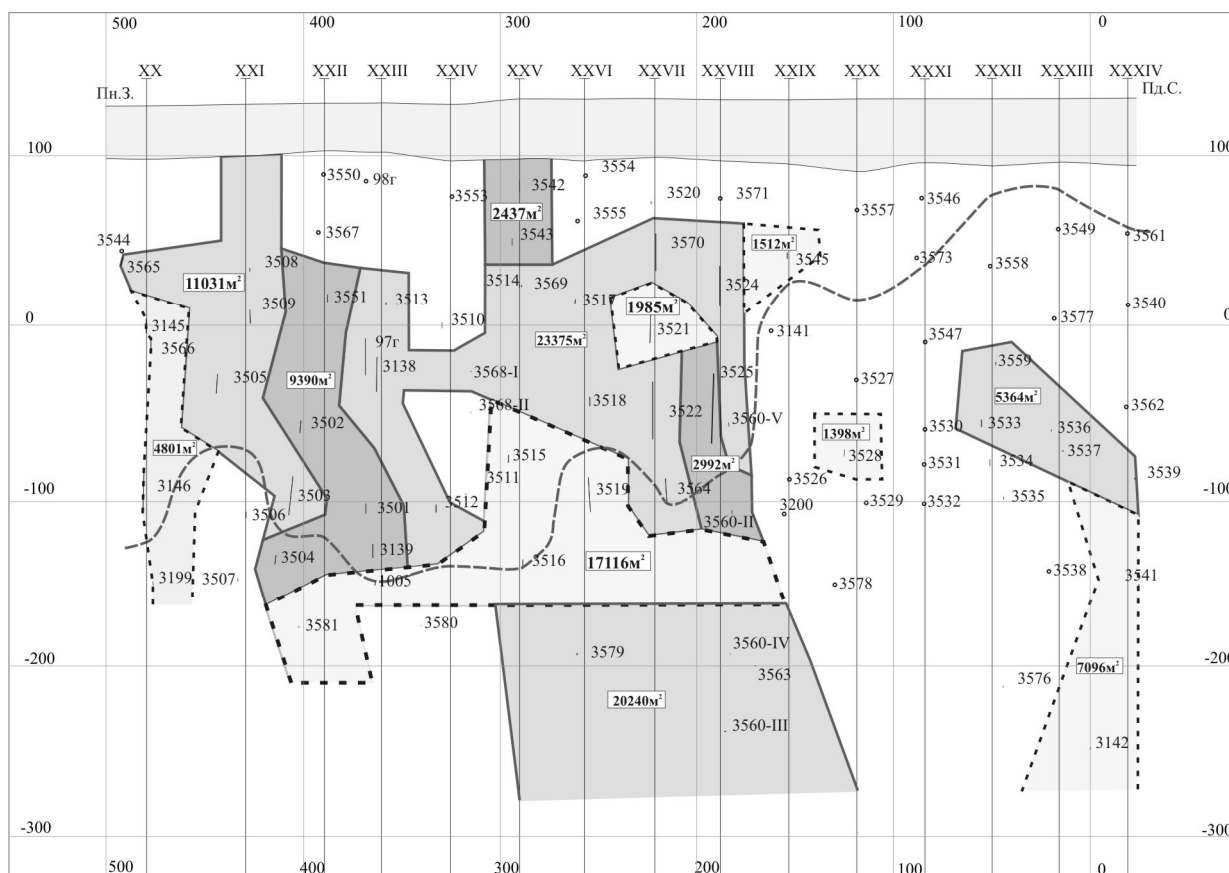


Рис. 2. Вертикальна проекція рудного тіла № 2 з розподілом геометризованого контуру хромових руд на блоки природних різновидів за вмістом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

На профілях XXXII, XXXIII і XXXIV, між горизонтами –10 і –110 м виділений блок форми нахиленої, в східні румби, усіченої піраміди площею 5364 м<sup>2</sup> і підпирається стовпом шириною 25–37 м, вісь якого проходить по профілю XXXIV, нижній контур стовпа не встановлений, тому що стовп уходить на глибину, за межі глибини розвідки (глибше 300 м від поверхні).

Основні запаси промислових руд рудного тіла № 2 локалізовані в блоках між профілями XX–XXX. Геометризовані контури підрахункових блоків рудного тіла № 2 спираються на 52 свердловинні перетини, виділено 9 блоків густовкраплених (прожилкуватих) руд з вмістом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20–35 %, що легко збагачуються гравітаційним методом; 28 блоків вкраплених руд з вмістом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 10–20 %, що збагачуються гравітаційно-магнітним методом. Виділено 15 блоків рідковкраплених руд з вмістом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6–10 %, що збагачуються гравітаційно-магнітно-флотаційним методом. Дійсна потужність рудного тіла № 2 коливається від 0,3 м до 12 м, середня рівна 2,9 м. Загальні запаси рудного тіла № 2 складають: руди 976584 т, в тому числі густовкраплених руд 176346 т, вкраплених руд 539490 т, рідковкраплених руд 260748 т; запаси Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> відповідно складають (т): 41970; 76554; і 21720; разом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 140244 т.

**Рудне тіло № 3** простягається східніше рудного тіла № 2 і паралельно до нього у вигляді лінзуючої жили потужністю від 0,4 м до 11,9 м, середня потужність 2,5 м (рис. 3). Між профілями XX–XXX, на відрізок в 400 м, жила № 3 ускладнена безрудними вікнами: на профілі XXII безрудне вікно висотою 60 м і шириною 40 м; на профілі XXVIII бузрудне вікно за формою прямокутного трикутника і розмірами катетів 55 м і 35 м. На горизонті –60 м безрудне вікно довжиною 120 м і шириною 40 м. Між профілями XXVII–XXX і між горизонтами –10 м і –75 м безрудне вікно форми трапеції висотою 35 м і довжиною середньої лінії 60 м і зливається з безрудним пережимом жили № 3 в межах профіля XXX шириною 40–55 м, за яким жила № 3 простягається на південний схід ще на 150 м у вигляді форми подібної до гачка, який між профілями XXX–XXIV і глибше горизонту –100 м просліджується на глибину.

Геометризовані контури рудного тіла № 3 проведені на вертикальній проєкції з розподілом руд на природні типи за вмістом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Виділено 16 блоків природних типів руд, що включають 52 рудних свердловинних перетини, в тому числі 2 блоки (2 рудних перетини, св. 3524, пр. XXVIII і св. 3536, пр. XXX–II) масивних (суцільних) руд, вміст Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 37,88 % і 35,21 %, руди не потребують збагачення; 1 блок (1 рудний перетин, св. 3534 пр. XXXII) густо вкраплених руд, вміст Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 25,09 %, руди легко збагачуються гравітаційним методом; 5 блоків (24 рудних перетини) вкраплених руд, що збагачуються гравітаційно-магнітним методом і 8 блоків (25 рудних перетинів) рідко вкраплених руд з вмістом Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6–10. Загальні запаси рудного тіла № 3 складають: руди 857036 т, в тому числі масивних руд 17343 т, густо вкраплених 7005 т, вкраплених 365364 т і рідко вкраплених руд 467324 т; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 98847 т і відповідно по типах руд 6330 т, 1758 т, 51224 т і 39536 т.

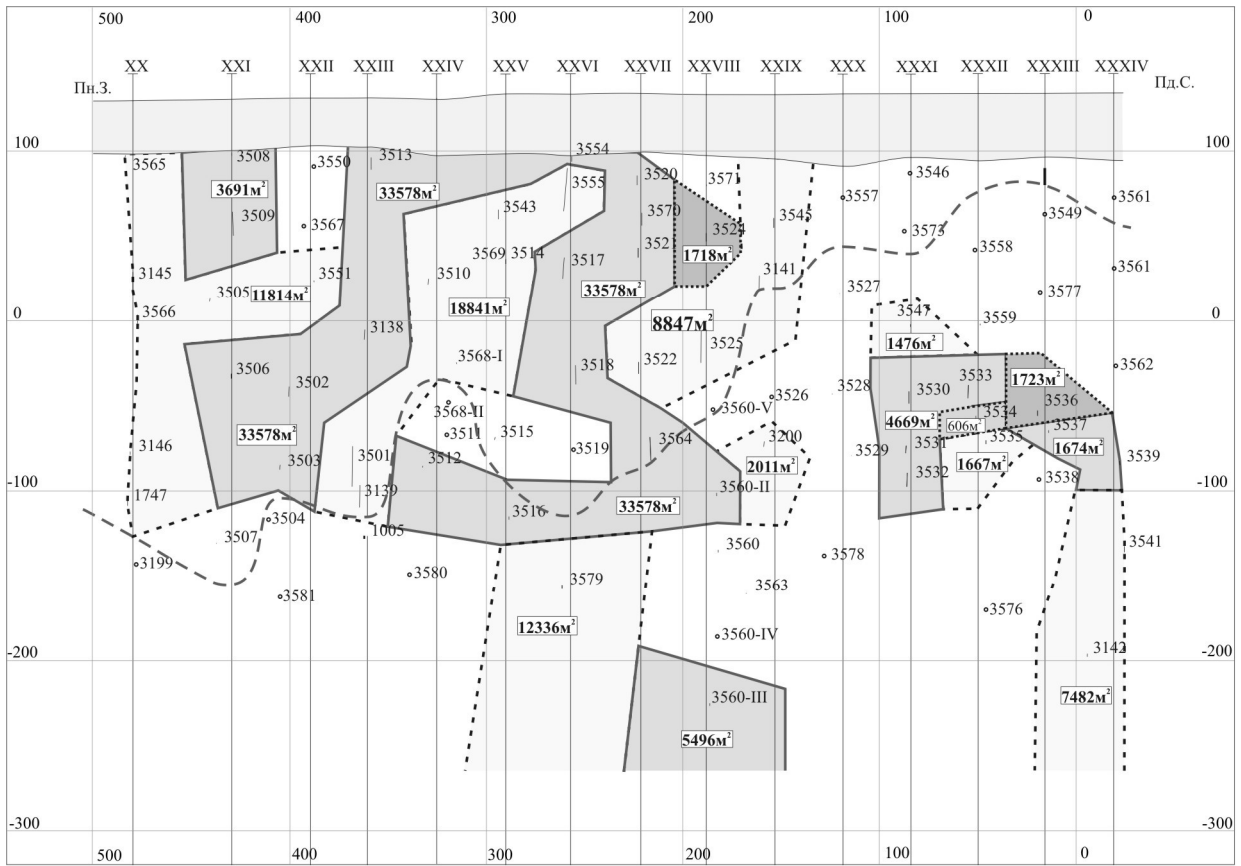


Рис. 3. Вертикальна проекція рудного тіла № 3 з розподілом геометризованого контуру хромових руд на блоки природних різновидів за вмістом  $Cr_2O_3$

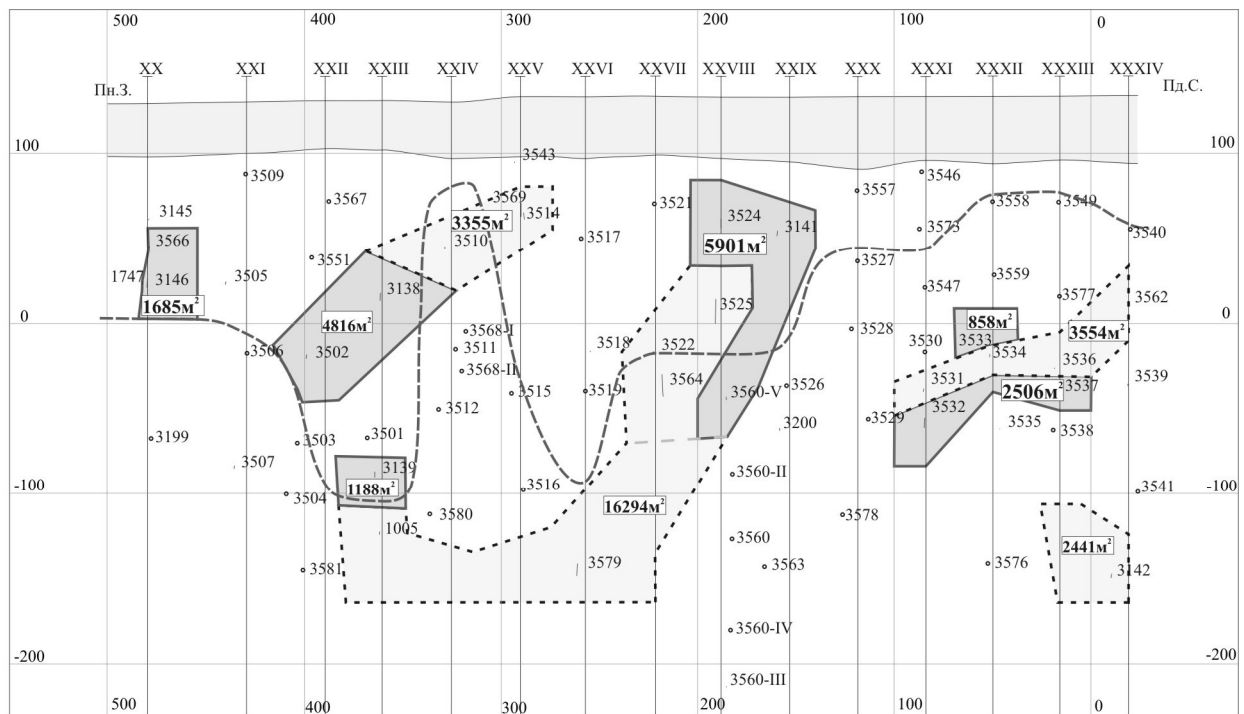


Рис. 4. Вертикальна проекція рудного тіла № 4 з розподілом геометризованого контуру хромових руд на блоки природних різновидів за вмістом  $Cr_2O_3$ .

**Рудне тіло № 4** просліджується східніше рудного тіла № 3 у вигляді складної переривчасто-лінзовидної жили з невтриманою потужністю (від 0,4 м до 7,4 м, середня потужність 1,8 м) і не витриманим вмістом  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (від 6,15 %, св. 3142 пр. XXXIV до 33,32 %, св. 3533 пр. XXXII).

Геометризовані контури рудного тіла № 4 проведені на вертикальній проєкції з розподілом руд на природні типи за вмістом  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (рис. 4). Виділено 10 блоків природних типів руд, що включають 25 рудних перетинів, в тому числі 6 блоків вкраплених руд (12 рудних перетинів і 4 блоки (13 рудних перетинів) рідко вкраплених руд з вмістом  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  6–10 %.

Загальні запаси рудного тіла № 4 складають: руди 233569 т, в тому числі по типах руд – вкраплених 89348 т, рідковкраплених 144222 т. Бурова розвідка не завірена гірничими виробками, а тому запаси хромових руд, до глибини 300 м від денної поверхні, класифіковані за категорією  $C_1$ , а глибше – за категорією  $C_2$ .

**Висновки.** Загальні запаси по 4-х рудних тілах хрому складають: руди 3269422 т в перерахунку на  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  458476 т, при середньому вмісті  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в руді 14,02 %. В підрахунок запасів включена 1297 ядерних проб, по яких порашовані коефіцієнти варіації потужності (36 %) і вмісту  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (73 %). У цілому по Середньому Побужжю ресурси хромітових руд оцінюються різними дослідниками від 23 до 175 млн. т. Отримані нами нещодавно нові дані по розвідці та запасах Східно-Липовеньківського родовища дозволяє схилитися в сторону збільшення мінімальних ресурсів хромітових руд мінімум в 2,4 рази та прийняти їх на рівні 55 млн. т. Встановлені середні сумарні значення платиноїдів 0,4 г/т дає змогу більш повно оцінити геохімічні ресурси платиноїдів в хромітових рудах Середнього Побужжя.

#### Список літератури

1. Лепігов Г.Д. Капітанівське родовище нікелевих і хромітових руд / Лепігов Г.Д., Василенко А.П. // Мінер. ресурси України. –1996. –№4. С. 36–42.
2. Фомин А.Б. Платина и палладий в ультраосновных породах среднего Побужья / Фомин А.Б., Каневский А.Я. // – К.: ИГФМ АН Украины. – 1974. 50 с.
3. Юшин А.А. Платиновые металлы в золоторудных месторождениях и рудопроявлениях Украинского щита / Юшин А.А. // 3б. наук. праць "Геохімія та екологія". – К.: Вип. 5/6. – 2002. С. 208–217.
4. Загнітко В.М. Рудоносність та геохімічні властивості карбонатитів Українського щита. Аспекти геології металевих і неметалевих корисних копалин / Загнітко В.М., Матвійчук М.В. // Т.1. – К.: ІГН НАНУ. – 2002, С. 172–181.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Додатком О.Д.  
Надійшла до редакції 14.03.2013*

## ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ЩОДО РОЗЛОМНО-БЛОКОВОЇ ТЕКТОНІКИ ДЛЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО ЗОНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ

Наведена методика використання геолого-геофізичної інформації щодо розломно-блокової тектоніки для визначення нових напрямків розповсюдження забруднення у геологічному середовищі.

Приведена методика использования геолого-геофизической информации о разломной-блоковой тектонике для определения новых направлений распространения загрязнения в геологической среде.

The technique of using geological and geophysical information about fault-block tectonics are described to devise new spread of contamination in the geological environment.

**Вступ.** В Україні кожного року зростає кількість накопичених відходів. Збільшуються об'єми утворення відходів, концентрації небезпечних речовин, їх фізичні властивості. В Україні функціонують близько 10 тисяч об'єктів промисловості, на яких використовуються або накопичуються більше 805 тис. тон небезпечних хімічних речовин, а декілька мільйонів тон відходів вже зберігаються у сховищах та відвалах, вони займають більше 26 тис. км<sup>2</sup> території України. Це дорівнює розміру Кримського півострова. Найбільша кількість об'єктів розташовані на території Донецької, Дніпропетровської, Запорізької, Харківської та Львівської областей. А саме на території Дніпропетровської області, яка розташована в центральній частині України, за останні 80 років згідно до Державного реєстру потенційно небезпечних об'єктів знаходиться більше 2000 потенційно небезпечних об'єктів. В результаті розвитку промисловості у сховищах Дніпропетровської області накопичено приблизно 100 млн. тонн відходів. Основними містами поряд з якими розташовані сховища відходів є Кривий Ріг, Жовті Води, Дніпродзержинськ, Орджонікідзе, Марганець, Вільногірськ. Дані сховища потенційно небезпечні та можуть впливати на компоненти навколишнього середовища та здоров'я людини.

**Стан проблеми зонування геоecологічного впливу накопичених відходів.** Геоecологічний вплив сховищ досліджують на Державному та місцевих рівнях. Однак дослідження багатьох організацій обмежуються вимірюванням забруднень на поверхні землі, на поверхні рослин та оцінкою забруднення повітря та води [1]. Також прогноз роблять оцінюючи в основному рельєф та річкову сітку. Дослідження впливу тектонічного фактору проводять для інших цілей глибинної чи інженерної геофізики, наприклад, стійкості дамб чи інших споруд. Тектонічна будова контролює багато екзогенних процесів, тому можливо припустити, що вона також впливає на розповсюдження забруднення від сховищ відходів.

**Метою даної статті** є розробка методики застосування геолого-геофізичної інформації про тектонічну будову території для визначення нових потенційних напрямків розповсюдження забруднення та геоecологічного зонування.

**Вплив сучасних сховищ відходів на навколишнє середовище.** Дослідженням шляхів розповсюдження забруднення та геоecологічним зонуванням займаються вже багато років вчені з різних країн. Основними слабкими місцями у сховищах можуть бути підстилаючі породи, склад та будова дамби, глибина залягання водоносних горизонтів, властивості відходів, якість робіт при підготовці днища (товщина ізолюючого шару під тілом відходів), термін придатності сховища, стан перекриваючого шару, стан відходів, кліматичні умови існування (режим вітру та опадів), тектонічна будова та рельєф.

Одним з шляхів розповсюдження забруднення є вітровий перенос радіонуклідів з сухої поверхні сховища. Багато сховищах (особливо з радіоактивними відходами) створені у ХХ столітті не покриті захисним шаром. Підтримка їх у задовільному стані згідно нормативів потребує багато коштів та пильного нагляду керівництва. Однак недостатня увага держави чи підприємств, недостатня кількість опадів призводить до висихання відходів та появи на поверхні «сухих пляжів». Під впливом вітрового переносу радіоактивний пил підіймається та переноситься на невелику відстань, яка залежить від сили вітру, рельєфу, розташування сховища. Цей пил потрапляє на рослини та поверхню землі. Внаслідок подальших опадів забруднюючі речовини (в т.ч радіонукліди) змиваються в низовини та потрапляють в шари верхньої частини розрізу [2]. Однак згідно досліджень (Тіллобев Х.І, 2012 та Прилуцький І.О, 2012) та математичних моделей переносу глибина проникнення завищених концентрацій радіонуклідів для умов схожих на умови середнього Придніпров'я складає 45-65 см. Тобто внаслідок такого шляху розповсюдження забруднення змінюють фізичні властивості території в межах санітарно-захисної зони.

Інший можливий та досліджуємий шлях переносу – через тіло дамби. При експлуатації сховища, заповнені чи нарощуванні існує небезпека прориву дамби. Досвід багатьох років показав, до яких наслідків це може привести [3]. Тому задля попередження цього моніторинг тіла дамби проводиться на всіх діючих сховищах. Вже добре відомо, за допомогою якого комплексу геофізичних методів можливо швидко встановити слабкі місця у дамбі та яким чином їх загоїти.

Наступний вплив на розповсюдження забруднення може робити зміна рівня першого водоносного горизонту разом з недостатнім захисним шаром на днищі сховищ. На Україні кожного року цей рівень зростає, також він змінюється по сезонам. Декілька десятків сховищ сформовані як тимчасові та без урахування прогнозу швидкості росту рівня водоносного горизонту. На території промислового Придніпров'я першим від поверхні землі є лесовий водоносний горизонт. Він досягаючи тіла відходів може переносити радіонукліди на значну відстань. Визначення впливу глибини залягання водоносних горизонтів починають вивчати. Для ефективних досліджень процесу поширення забруднення через підземні водоносні та геоecологічного зонування необхідне застосування геофізичних методів. Швидко спрогнозувати напрями дослідження дають можливість фізико-геологічні моделі з техногенною складовою для сховищ відходів [2].

**Вплив тектонічного фактору.** Тектонічний фактор є одним з найважливіших для визначення шляхів міграції забруднення чи радіонуклідів з хвостосховища. Тектонічна будова визначає шляхи як підземної так і поверхневої міграції. Це добре зрозуміло у другому випадку, адже поверхнева міграція радіонуклідів зі сховищ спрямована у пониження рельєфу та й самі сховища будували у природних балках чи на схилах оврагів. Але вже добре відомо, що пониження у рельєфі контролюють тектонічні розломи, які можуть бути активними. Також відомо, що розломи по геофізичним властивостям характеризуються підвищеною проникливістю, вони є шляхами міграції флюїдів між шарами землі. Але це стосується й верхньої частини розрізу. Адже осадкові породи, які перекривають розломи та складають балки теж мають підвищену проникливість і можуть бути шляхами міграції забруднення у навколишнє середовище. Таким чином потрапивши у зону розлому відходи забруднюють водоносні горизонти і поширюються на значні відстані від джерела. Особливо це стосується сховищ відходів, які були збудовані у ХХ столітті. Значна їх кількість на Україні розташована у Дніпропетровській області та знаходиться під впливом будови УЩ. Тектонічна ситуація регіону дуже складна. Значна кількість розломів різних рангів та напрямків, розвинуті магматичні, метаморфічні та осадкові породи впливають на напрямок стоку та зносу матеріалу, на стабільність дамб.

На відміну від попередніх шляхів тектонічні розломи мають можливість поширити забруднення на значну відстань поміж багатьох населених пунктів, областей та навіть країн. Вони впливають і на денну поверхню, на розташування річкової сітки та визначають місця розгрузки підземних та поверхневих вод. Проводяться багато досліджень для визначення ділянок розповсюдження забруднення на поверхні, однак досі не має методики визначення пріоритетного напрямку горизонтального та вертикального розповсюдження відходів.

**Розробка процедури обробки інформації про тектонічну будову для зонування території.** Для прикладу використання тектонічної інформації для зонування території та визначення потенційних та пріоритетних шляхів міграції забруднення ми взяли карти систем розломів УЩ, створені К.Ф.Тяпкіним. Першим етапом необхідно визначити ділянки найбільшої порушеності, тобто в яких перетинаються декілька систем розломів та зонувати досліджуєму ділянку за кількісним показником наявності індикаторів розломів. Автором власне досліджувалися карти масштабу 1:500 000, 1:200 000 для міст Кривий Ріг, Жовті Води, Дніпродзержинськ, Орджонікідзе, Марганець, Вольногорськ та 1:50 000 для міст Марганця та Дніпродзержинська та проведений підрахунок кількості індикаторів розломів в умовних одиницях. Спочатку вручну, а потім для автоматизування цього процесу створена комп'ютерна програма Marcounter в Delfi для windows 2007 та побудована карта щільності показників та проведено зонування території (Рис. 1).

Для визначення потенційних напрямків на наступному етапі необхідно врахувати коефіцієнт проявленості розломів, з використанням каталога розло-

мів УЩ К.Ф.Тяпкіна для масштабу 1:500 000 . Таким чином враховується проявленість розломів в гравітаційному полі, в магнітному, в рельєфі та геології.

$$S_{jinorm} = S_{ji} * \frac{K_p}{S_{jmax}}$$



Рис.1. Інтерфейс програми Marcounter та карта щільності індикаторів розломів Дніпропетровської області

Де  $i$  - номер ячейки,  $j$  – номер напрямка,  $S_{jinorm}$  – нормована сума по 1 напрямку в ячейці,  $S_{ji}$  - сума індикаторів розломів в ячейці для  $J$  напрямку (у.о.),  $K_p$  - коефіцієнт проявленості розлому по каталогу,  $S_{jmax}$  - максимальне значення суми індикаторів на карті для  $J$  напрямку

$$K_p = \frac{P_g + P_m + P_r + P_{geo}}{S_p}$$

Де  $P_g$  – проявленість розлому в гравітаційному полі (від 0 до 1),  $P_m$  – проявленість в магнітному полі,  $P_r$  – проявленість в рельєфі,  $P_{geo}$  – проявленість в геологічних формаціях,  $S_p$  – сума враховуваних показників.

$$S_i = \sum_{j=1}^{12} S_j$$

Де  $S_i$  – сума в ячейці за всіма напрямками,  $S_j$  – сума індикаторів розломів по окремому напрямку у ячейці.

Далі за отриманими даними визначаємо потенційні напрямки для кожної ячейки та зонуємо територію за потенційними напрямками розповсюдження забруднення: якщо нема проявленого напрямку, 1 проявлений або 2 проявлених близьких, то пріоритетне горизонтальне розповсюдження; якщо 3 або більше чи 2 проявлених ортогональних напрямки, то пріоритетне вертикальне розповсюдження забруднення.



Розповсюдження радіонуклідів або іншого забруднення не проходить по вузькому напрямку, воно поширюється на площу, поєднуючи декілька напрямків, тому можливо визначити 4 напрямки об'єднавши існуючі системи розломів (Таблиця 1).

Таблиця 1

Визначення загальних напрямків розповсюдження забруднення

Новий напрямок	Північний (П)	Північно-Східний (ПС)	Східний (С)	Північно-Західний (ПЗ)
Напрямок системи розломів К.Ф. Тяпкіна	347, 0, 17	35,45,62	77,90,287	332,305,315

Тоді на карті у кожній ячейці необхідно зробити наступний запис

$S_i$   
П, ПС, С або ПЗ

Потім отримуємо карту та можемо її проаналізувати (Рис.2).

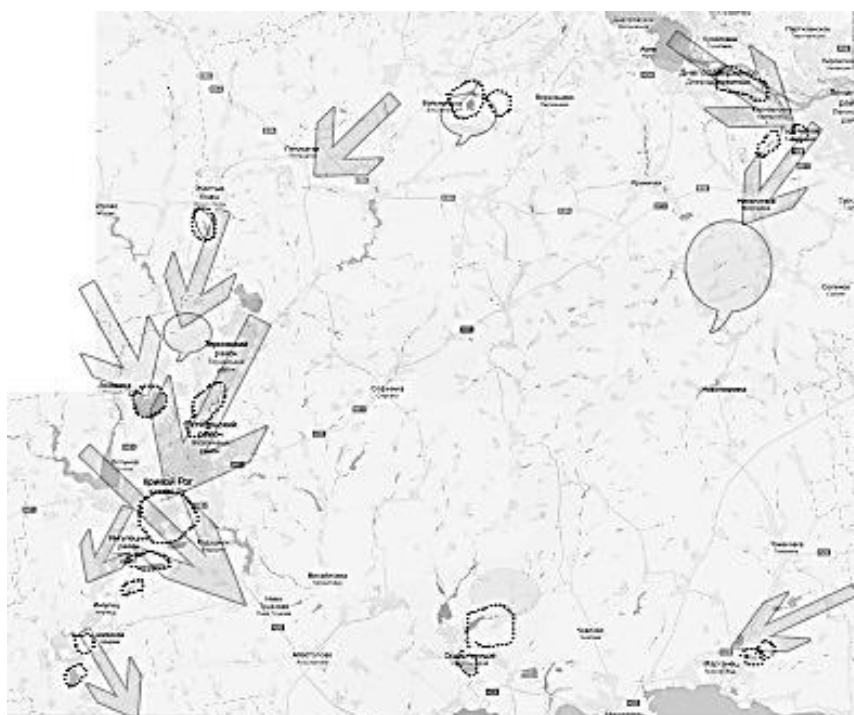


Рис.2. Карта потенційних напрямків розповсюдження забруднення від сховищ відходів Дніпропетровської області

Розроблена методика апробована нами на прикладі Дніпропетровської області. Після проведених розрахунків тектонічної інформації визначені основні потенційні шляхи міграції забруднення. Вони дозволяють не лише підтвердити поверхневі шляхи, але й виділити нові зони пріоритетно вертикального

розповсюдження забруднення, яке зачепить глибинні водоносні горизонти. Для сховищ відходів міста Жовті Води потенційний напрямок розповсюдження відходів в сторону Кривого Рогу. Для Вольногорська та Орджонікідзе – вертикальне розповсюдження, яке може забруднити лесовий та неогеновий водоносні горизонти, для Марганцю – пріоритетне розповсюдження на південний захід, для Кривого рогу, для Дніпродзержинська (у напрямку населених пунктів). Врахування геолого-геофізичної інформації щодо тектонічної будови регіону дозволило визначити природні зони «бар'єрів» горизонтального розповсюдження забруднення від сховищ відходів. Особливо це проявлено для сховищ радіоактивних відходів Сухачівського 1,2 секції. Згідно розрахунків на основі екологічних та гідрогеологічних показників забруднення через деякий час поширяться до населених пунктів і впливатиме на здоров'я населення. Однак провівши оцінку тектонічної будови за геолого-геофізичними даними, встановлено, що забруднення потрапить у зону пріоритетно вертикального переміщення та не вплине на фізичні властивості водоносних горизонтів, використовуємих у цих населених пунктах. Ця нова інформація може стати основою прийняття управлінських рішень щодо попередження впливу сховищ відходів на геологічне середовище та людину.

**Висновки.** Встановлено, що тектонічна будова території є основним природним чинником розповсюдження відходів від сховищ на відносно значні відстані. На основі геолого-геофізичної інформації щодо розломно-блокової тектоніки УЩ проведений аналіз, обробка даних за допомогою власних програм та геоекоекологічне зонування територій у мілкому, середньому та крупному масштабах. Встановлені закономірності горизонтального та вертикального розповсюдження відходів. В результаті проведена робота дозволила визначити нові напрямки потенційного розповсюдження забруднення. Ця методика може бути використана для прийняття рішень щодо попередження впливу сховищ відходів та визначення майбутніх майданчиків розташування об'єктів господарської діяльності.

#### Список літератури

1. Екологічна карта м. Дніпропетровська, масштабу 1:25 000 (на 2-х листах). Пояснювальна записка: Під ред. проф., д-ра техн. н. Шапаря А.Г., ІПРЕ НАНУ. – Дніпропетровськ, 2000. – 49 с.
2. Білашенко О.Г. Геометричні особливості фізико-геологічних моделей сховищ відходів збагачення уранової сировини в середньому Придніпров'ї/О.Г. Білашенко, П.І. Пігулевський, О.К. Тяпкін // Науковий вісник НГУ.- 2012, № 1. – С. 9-14.
3. Aguilar, J. Remediation of As-Contaminated Soils in the Guadiamar River Basin (SW, Spain)/J. Aguilar, C. Dorronsoro, E. Fernandez, J. Fernandez, I. Garcia, F. Martin, M. Sierra// Water, Air, and Soil Pollution An International Journal of Environmental Pollution. – 2007.-Vol 180/ № 1-4 – pp. 109-118.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Тяпкіним К.Ф.  
Надійшла до редакції 13.03.2013*

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О МЫШЬЯКЕ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ ЛИСИЧАНСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА ДОНБАССА

В статье рассмотрены особенности распределения As в угольных пластах Лисичанского геолого-промышленного района. Установлен характер его распределения, выполнен расчет средневзвешенных концентраций в углях основных пластов и свит, выявлен состав типоморфной геохимической ассоциации As с другими токсичными и потенциальными элементами в углях района.

У статті розглянуто особливості розподілу As у вугільних пластах Лисичанського геолого-промислового району. Встановлено характер його розподілу, виконано розрахунки середньозважених концентрацій у вугіллі основних пластів та свит, з'ясовано склад типоморфної геохімічної асоціації As з іншими токсичними і потенційно токсичними елементами у вугіллі району.

The peculiarities of As distribution in the coal strata of Lisichansk geological and industrial district have been considered in the article. There was defined the character of its distribution, calculated weighted average concentrations in the coals of basic strata and formations, determined the composition of typomorphic geochemical association of As with other toxic and potentially toxic elements in the coals of the district.

**Введение.** Исследования распределения As в углях пластов Лисичанского геолого-промышленного района Донбасса связаны с повышением требований к охране окружающей среды, обуславливающих потребность в новых научно обоснованных методах прогноза содержания токсичных элементов в добываемой шахтами горной массе, отходах добычи и углеобогащения. Для объективной оценки воздействия угледобывающей промышленности и предприятий теплоэнергетики на экологическую ситуацию и планирования наиболее эффективных мероприятий, направленных на ее улучшение, необходимо располагать сведениями о характере распределения и уровне концентрации токсичных элементов в углях и вмещающих породах извлекаемых в процессе добычи. С целью получения такой информации в Национальном горном университете были выполнены детальные исследования, охватившие всю территорию Лисичанского геолого-промышленного района. Автором совместно с А.И. Чернобук, Д.Я. Михальчонок, В.В. Дворецким [1, 2] исследованы особенности распределения некоторых токсичных и потенциально токсичных элементов в продуктах и отходах обогащения ряда углеобогачительных фабрик Донбасса, а также совместно с А.Л. Лозовым [3] рассмотрены особенности распределения основных токсичных и потенциально токсичных элементов в угле пластов Павлоград-Петропавловского района. В 2005г. в соавторстве с В.Н. Нагорным были обобщены и проанализированы данные о закономерностях накопления ртути в угольных пластах Красноармейского района [4]. Совместное распределение As и F в углях пластов Лисичанского геолого-промышленного района рассмотрено автором в 2009г. [5]. За прошедшее время с момента этой публикации был собран и обработан значительный объем данных, существенным образом дополняющий сделанные ранее выводы.

**Цель и задачи исследования.** В данной работе основными задачами изучения геохимии токсичных элементов в основных рабочих угольных пластах являлись: ревизия выполненных ранее исследований концентраций As; классификация угольных пластов по содержанию этого элемента; выявление связи и расчет уравнений регрессий между концентрациями As и другими токсичными и потенциально токсичными элементами, петрографическим составом углей и их основными технологическими параметрами.

**Результаты.** Используемый фактический материал характеризует содержание As в углях основных пластов района относящихся к свитам  $C_2^4$  (пласт  $i_2^1$ ),  $C_2^5$  (пласты  $k_7^1$ ,  $k_8^H$ ,  $k_8$ ,  $k_8^B$ ),  $C_2^6$  (пласты  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_2^1$ ,  $l_3$ ,  $l_4$ ,  $l_5$ ,  $l_6$ ,  $l_8$ ,  $l_8^1$ ) и  $C_2^7$  (пласты  $m_3^H$ ,  $m_3$ ,  $m_3^B$ ,  $m_6^2$ ,  $m_6^3$  и  $m_7$ ) среднего отдела каменноугольного периода. Именно по этим пластам были получены наиболее представительные (более 33 анализов удовлетворяющих требованиям правильности и воспроизводимости [7, 8] и относительно равномерно распределенные по площади) результаты. В целях получения наиболее объективных и однородных данных в работе использовались в основном результаты полуколичественных и количественных анализов углей керновых проб полей шахт «Матросская» (пласты  $k_7^1$ ,  $l_3$ ,  $l_5$ ,  $l_6$ ,  $l_8$  и  $m_3^B$ ), «им. Капустина» (пласты  $i_2^1$ ,  $k_8^H$ ,  $l_3$ ,  $l_4$ ,  $l_6$ ,  $l_8$ ,  $m_3^H$ ,  $m_3$ ,  $m_6^2$ , и  $m_7$ ), «им. Мельникова» (пласты  $k_8$ ,  $l_2^1$ ,  $l_4$  и  $l_6$ ), «Привольнянская» (пласты  $k_8$ ,  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $l_3$ ,  $l_4$ ,  $l_5$ ,  $l_6$ ,  $l_8$ ,  $l_8^1$ , и  $m_3^H$ ,  $m_3^B$ ,  $m_6^2$ ,  $m_6^3$  и  $m_7$ ), «Кременная» (пласты  $k_8^H$ ,  $k_8$ ,  $k_8^B$  и  $l_2^1$ ), «Новодружеская» (пласт  $l_2^1$ ), «им. 60-летия Советской Украины» (пласты  $k_8^H$ ,  $l_4$  и  $l_6$ ) выполненных после 1983г. в центральных сертифицированных лабораториях геологоразведочных организаций, в ряде случаев они дополнялись анализами пластово – дифференцированных проб отобранных лично или совместно с сотрудниками геологических служб производственных геологоразведочных и добывающих организаций.

После первичного анализа и разбраковки качественных и количественных характеристик правильности и воспроизводимости результатов анализов в дальнейшей работе было использовано 1458 определений As в углях района.

С целью получения представительных оценок содержания этого элемента в углях, как отдельных пластов, свит, так и в целом по району единичные определения были объединены по отдельным пластам в 20 пообъектных выборок, а дальнейший расчет средних значений концентраций выполнялся как средневзвешенное на объем пласта. При расчетах объема принималась средняя мощность в пределах пласта, а площади достоверно установленных размывов и выклинивания не учитывались.

В целях классификации угольных пластов района по содержанию As выполнена процедура кластерного анализа. На дендрограмме кластеризации пластов по содержанию As (см. рис. 1) первый кластер составляют пласты со средним содержанием (от 0 до 156 г/т, при среднем по кластеру 91 г/т), второй кластер формирует только 1 пласт с аномально высокими концентрациями (средневзвешенное значение по пласту – 269 г/т). В структуре первого кластера четко выделяются два вложенных кластера. В кластере 1.1 находятся 8 пластов с минимальными содержаниями (от 0 до 83 г/т, при среднем по кластеру (соответствует фоновому значению) 44 г/т), а в кластере 1.2 объединены 11 пластов с повышенными концентрациями (от 107 до 200 г/т, при среднем по кластеру 130

г/т). Обращает внимание близость (в пределах 95 % доверительного интервала) средневзвешенных значений содержания As в углях пластов первого кластера и во всех изученных пластах района (средневзвешенное значение 95 г/т).

Анализ результатов кластерного анализа средневзвешенных концентраций As по пластам, технологических характеристик, морфоструктурных особенностей пластов, литолого-фациального состава непосредственной кровли и почвы, а также петрографических особенностей углей показал:

1) для углей пластов кластера 1 характерны: значительное преобладание в микрокомпонентах угля гелифицированного вещества, ведущая роль в минеральных примесях сингенетических зерен кварца, диагенетических карбонатов и сульфидов при общем невысоком содержании минеральной составляющей и серы общей. Угли пластов кластера 1.2 отличается несколько повышенное содержание глинистого вещества по сравнению с углями пластов кластера 1.1;

2) угли пласта  $i_2^1$  формирующего второй кластер (см. рис. 1) отличаются от вошедших в первый в целом более высоким содержанием фюзенизированного вещества и повышенной диагенетической (в основном – глинистой) и эпигенетической (в частности, сульфидной) минерализацией. Пласт  $i_2^1$  из всех исследованных по району угольных пластов отличается исключительной невыдержанностью и фрагментарностью распространения. Для него характерны многочисленные расщепления и слияния, резкие изменения мощности на весьма небольших интервалах, различные типы размывов и значительное количество элементарных слоев и пачек.

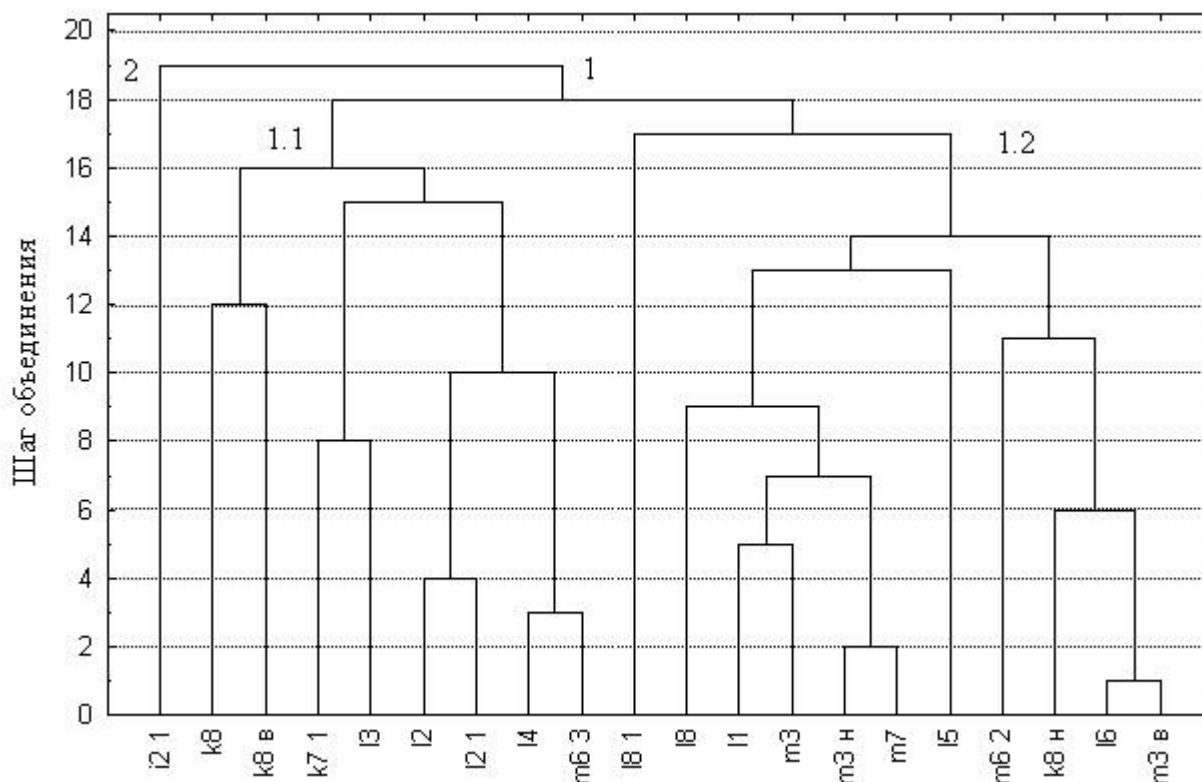


Рис. 1. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Лисичанского геолого-промышленного района по содержанию As в угле

Для выявления основных факторов, контролирующих накопление As в углях района, а также его связи с другими токсичными и потенциально токсичными элементами был выполнен корреляционный и регрессионный анализы его концентраций с основными технологическими показателями, содержаниями этих элементов и петрографическим составом углей. В целом по району установлено:

1) статистически значимая связь содержаний As с сернистостью, зольностью и петрографическим составом углей отсутствует, в то же время как для пластов формирующих кластеры 1.2 и 2 выявлена значимая положительная связь содержаний As с количеством эпигенетической сульфидной минерализацией, зольностью и содержанием фюзенизированных микрокомпонентов. Кроме того, для всех этих пластов установлена значимая положительная связь (коэффициент корреляции Пирсона 0,44) между концентрациями As и содержанием глинистых минералов в углях;

2) в углях района As образует геохимическую ассоциацию с Be (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,49, график регрессии на рис. 2), с F (значимый коэффициент корреляции Пирсона –0,48, график регрессии на рис. 3), с Mn (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,36, график регрессии на рис. 4) и с Pb (значимый линейный коэффициент корреляции 0,51, график регрессии на рис. 5), линейные уравнения регрессии:

$$\begin{aligned} \text{As} &= 0,20225 + 0,46350\text{Be}; & \text{As} &= 0,50608 - 0,4643\text{F}; \\ \text{As} &= 0,27055 + 0,37497\text{Mn}; & \text{As} &= 0,20930 + 0,49605\text{Pb}, \end{aligned}$$

в то же время на площади пластов (с использованием метода Червякова В.А. [9]) формирующих кластеры 1.2 и 2, а также на отдельных участках пластов объединенных в кластер 1.1 выявлена значимая положительная корреляционная связь As с содержанием фюзенизированного вещества углей, диагенетической глинистой и эпигенетической сульфидной минерализацией;

3) в целом по району во всех исследованных пластах наблюдается незначительное увеличение содержания As с ростом степени углефикации угля;

4) концентрация As в угле всех рассматриваемых пластов, как правило, закономерно возрастает на участках с интенсивной трещиноватостью, вдоль разрывных нарушений и вблизи зон эпигенетических размывов;

### **Выводы.**

1. Средние значения содержаний As в угле основных рабочих пластов района ниже ПДК в углях. Кроме того, в пластах зоны аномальных концентраций As в основном приурочены к участкам, которые не могут быть отработаны по технологическим причинам или горно-геологическим условиям. Уголь всех пластов относящихся к первому кластеру по содержанию As может быть использован после обогащения в пищевой промышленности. Уголь всех пластов относящихся к первому и частично второму кластерам может быть использован по содержанию As без обогащения в энергетической и металлургической промышленности.

2. Аномально высокие концентрации As характерны для углей пласта  $i_2^1$  (максимальное по району средневзвешенное содержание). В минимальном количестве As содержится в углях пластов  $k_7^1$ ,  $k_8$ ,  $k_8^B$ ,  $l_2$ ,  $l_2^1$ ,  $l_3$ ,  $l_4$ , и  $m_6^3$

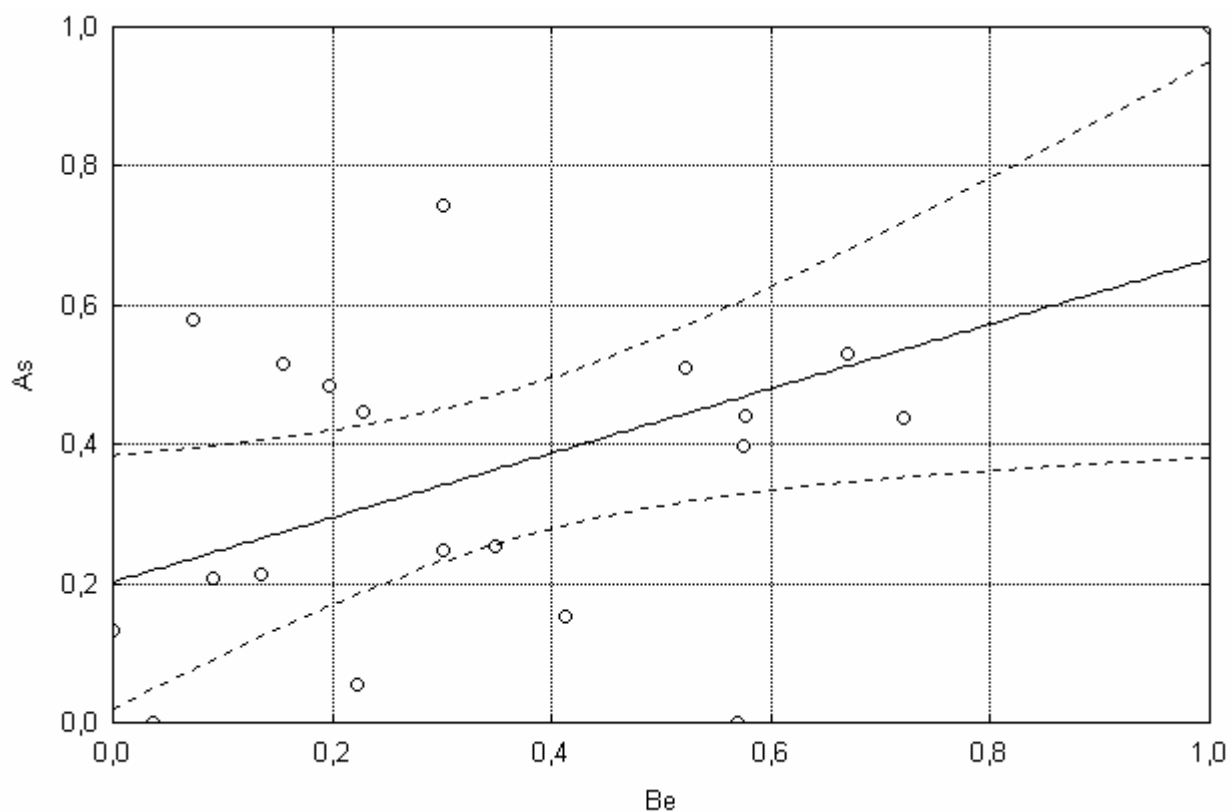


Рис. 2. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Be в основных угольных пластах Лисичанского района

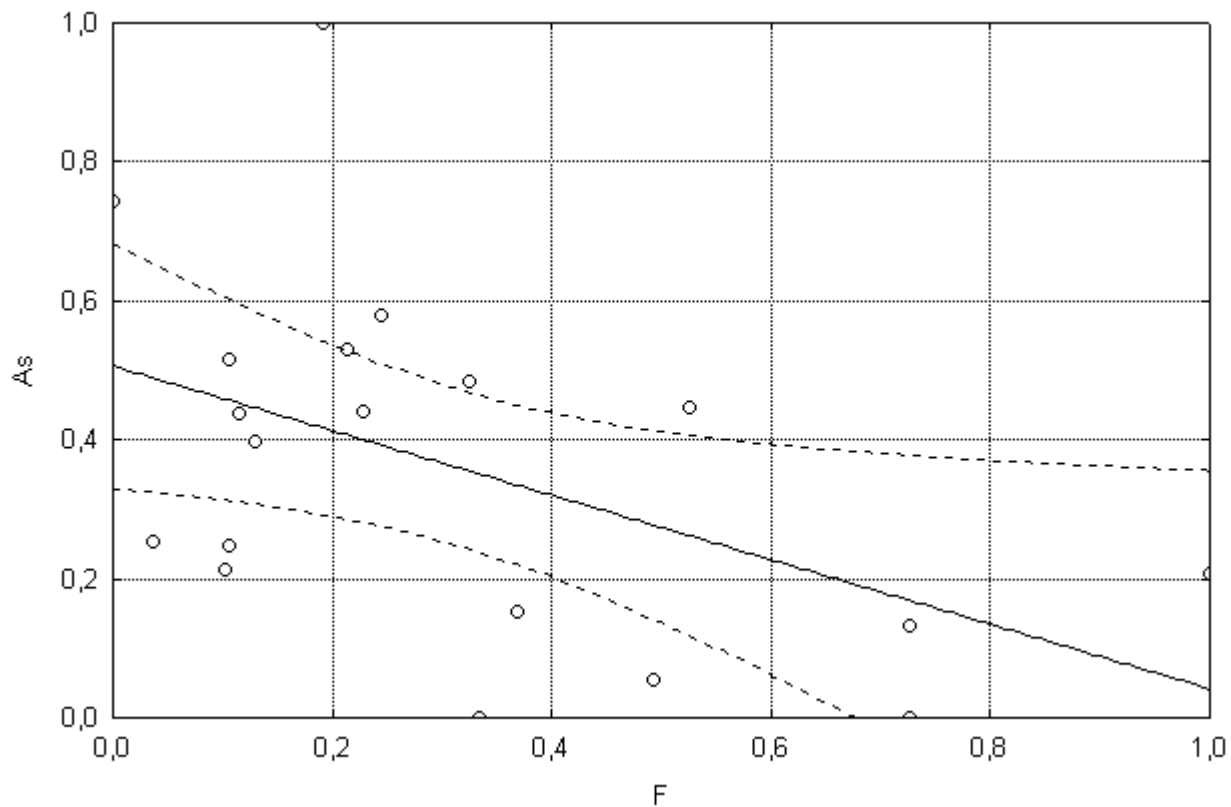


Рис. 3. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и F в основных угольных пластах Лисичанского района

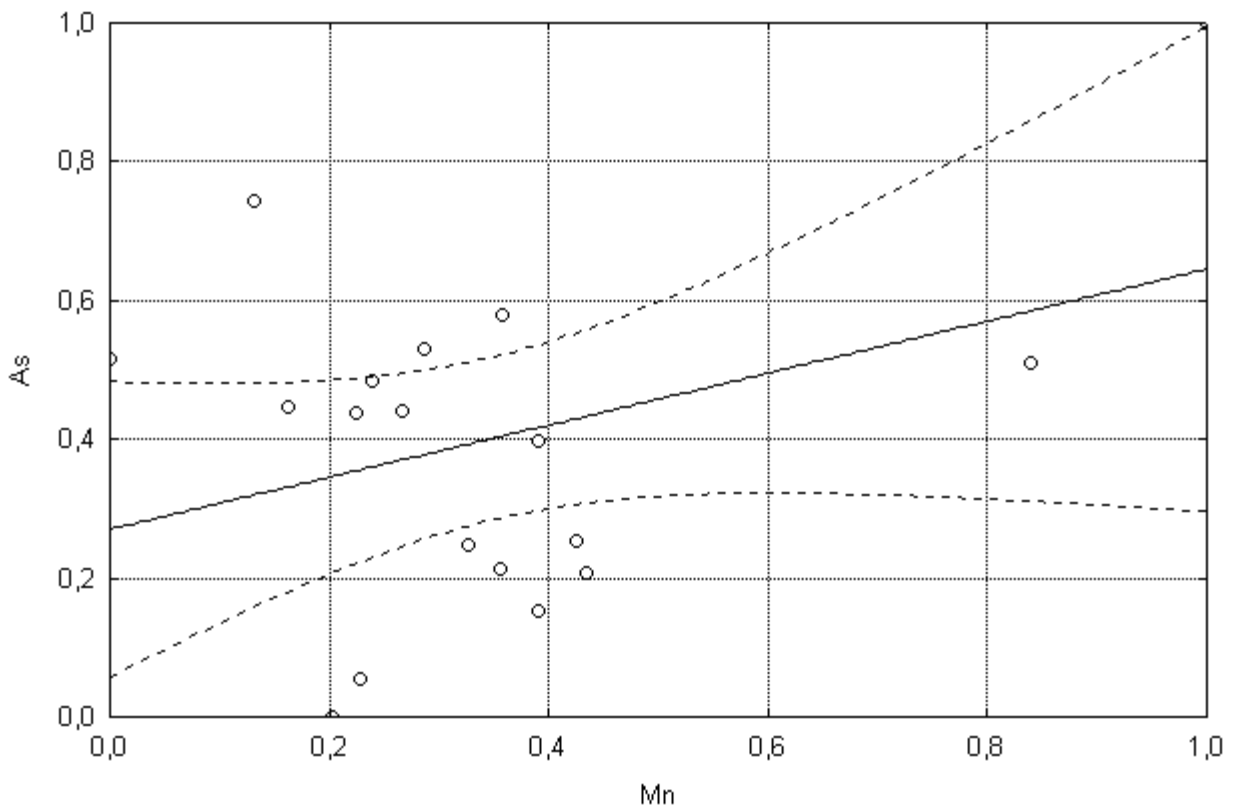


Рис. 4. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Mn в основных угольных пластах Лисичанского района

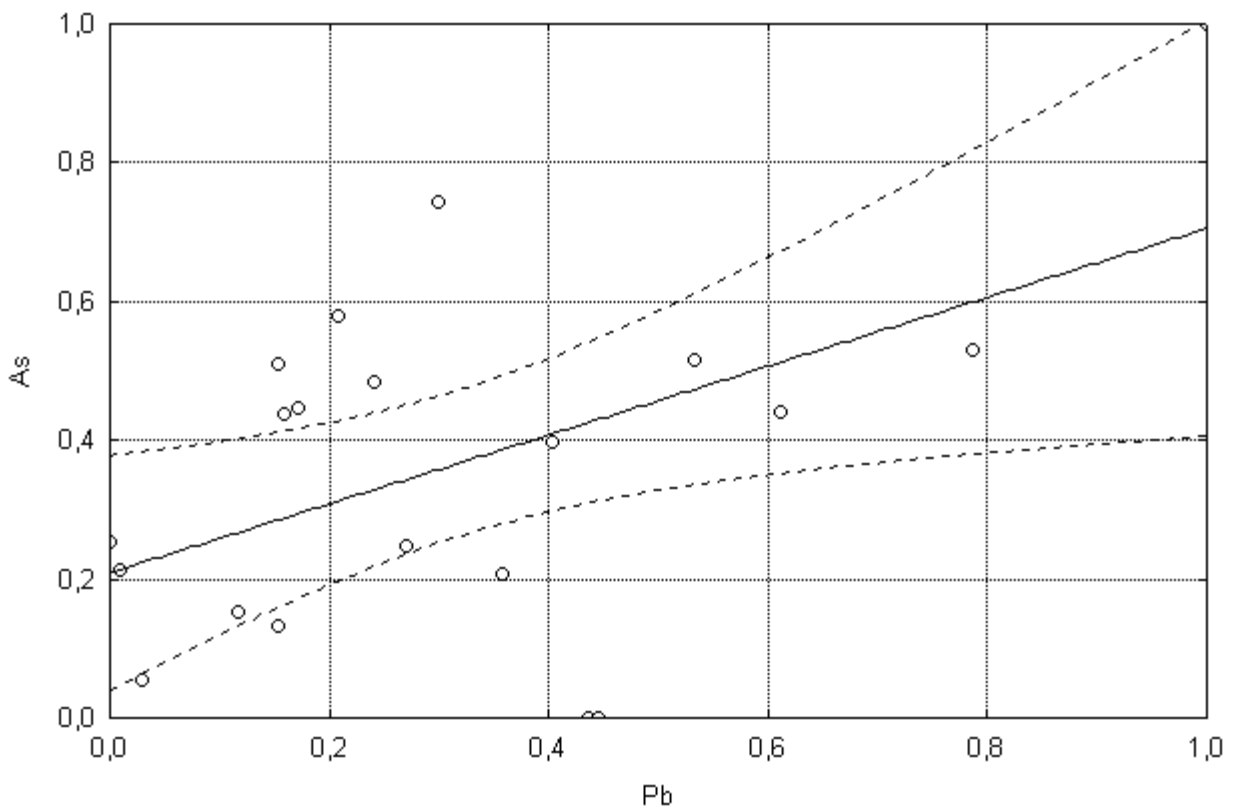


Рис. 5. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Pb в основных угольных пластах Лисичанского района



3. Несмотря на отсутствие прямой связи содержания As с зольностью и сернистостью углей в целом по району, в то же время, для ряда пластов (кластеры 1.2 и 2) с повышенными концентрациями As такая зависимость приобретает статистически значимый характер. Это свидетельствует о разных формах нахождения As в углях района. Если для углей с фоновыми содержаниями As преобладающей является органическая (вероятно, сорбционная) и терригенная форма, то для углей с высокими концентрациями As доминирующей является эпигенетическая сульфидная форма.

4. Для углей района типоморфной является геохимическая ассоциация As с Be, F, Mn, Pb.

**Основное научное значение полученных результатов заключается** в расчете средневзвешенных концентраций этого элемента в углях основных пластов и свит, выявление состава и характера его типоморфных геохимических ассоциаций, а также установление причин и особенностей накопления в углях района.

**Основное практическое значение полученных результатов состоит** в классификации угольных пластов района по содержанию As, а так же в расчете уравнений регрессии между элементами, входящими в его геохимическую ассоциацию.

#### Список литературы

1. Ишков В.В., Чернобук А.И., Дворецкий В.В. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Краснолиманской ЦОФ. // Науковий вісник Національної гірничої академії України. №5. - Днепропетровск, 2001. - С. 84-86.
2. Ишков В.В., Чернобук А.И., Михальчонок Д.Я. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Добропольской ЦОФ. // Науковий вісник Національної гірничої академії України. №4. – Днепропетровск, 2001. – С. 89-90.
3. Ишков В.В., Лозовой А.Л. О закономерностях распределения токсичных и потенциально токсичных элементов в угольных пластах Павлоград-Петропавловского района. // Науковий вісник Національної гірничої академії України. №2. – Днепропетровск, 2001. – С. 57-61.
4. Ишков В.В., Нагорный В.Н. О закономерностях накопления ртути в угольных пластах Красноармейского геолого-промышленного района // Науковий вісник Національної гірничої академії України. №2. – Днепропетровск, 2005. – С. 84-88.
5. Ишков В.В. Мышьяк и фтор в угольных пластах Лисичанского геолого-промышленного района // Збірник наукових праць Національного гірничого університету № 33, т. 1. - Днепропетровск, 2009. – С. 5-16.
6. Гавришин А.И. Оценка и контроль качества геохимической информации. -М.: Недра, 1980. – 287с.
7. Беус А.А. Геохимия литосферы. – М.: Недра, 1981. – 335с.
8. Ишков В.В., Сердюк Е.А., Слипенький Е.В. Особенности применения методов кластерного анализа для классификации угольных пластов по содержанию токсичных и потенциально токсичных элементов (на примере Красноармейского геолого-промышленного района) // Сборник научных трудов НГУ. - №19. - Т.1. - С. 5-16.
9. Червяков В.А. Концентрация поля в современной картографии. – М.: Наука, 1978. – 149 с.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.*

*Надійшла до редакції 04.02.13*

## ЗАКОНОМІРНОСТІ ЕВОЛЮЦІЇ КІМБЕРЛІТОВИХ МІНЕРАЛІВ ТА ЇХ АСОЦІАЦІЙ В ПРОЦЕСІ ФОРМУВАННЯ ШЛІХОВИХ ОРЕОЛІВ

Розглянуто особливості шліхових ореолів кожного генетичного типу, розподілено осадові колектори кимберлітових мінералів в різних седиментаційних обстановках, проаналізовано зміни асоціації кимберлітових мінералів в процесі формування ореолів і розсипищ.

Рассмотрено особенности шлиховых ореолов каждого генетического типа, распределено осадочные коллекторы кимберлитовых минералов в разных седиментационных обстановках, проанализировано изменения ассоциаций кимберлитовых минералов в процессе формирования ореолов и россыпей.

The features of slime circles of each genetic type are considered. Sediments' collectors of kimberlite minerals in different sedimentary situations are distributed. The changes of kimberlite minerals associations in the process of circles and placers formation are analyzed.

**Вступ.** В процесі руйнування корінних джерел і утворення механічних ореолів індивідуальні особливості індикаторних мінералів з кимберлітів, які набуті в глибинних умовах, зберігаються, в зв'язку з чим кожне кимберлітове тіло утворює тільки для нього характерний ореол розсіювання цих мінералів. Але на земній поверхні індикаторні мінерали потрапляють в умови, які на багато відрізняються від умов їх глибинного існування. Вони підлягають дії нових потужних факторів, які змінюють як обрис окремих мінералів, так і їх асоціацію в цілому. В процесі формування шліхових ореолів індикаторні мінерали з кимберлітів зазнають дії екзогенних факторів, внаслідок чого вони втрачають свої первинні ознаки, і набувають нові, вторинні. Особливо глибокі зміни характерні для кимберлітових мінералів з древніх ореолів із складною історією формування. Велике значення по дослідженню зміни мінералів-супутників алмазу та їх асоціацій під час проходження осадових процесів, мають роботи Харьківа А.Д., Підвисоцького В.Т., Афанасьєва В.П., Зінчука М.М. та інших вчених. Однак, вивчення міграції мінералів супутників алмазу і на сьогоднішній день є досить актуальним.

**Метою статті** є проаналізувати зміни асоціацій кимберлітових мінералів в процесі формування ореолів і розсипищ залежно від генетичного типу ореолів розсіювання та різних седиментаційних обстановок.

**Викладення основного матеріалу.** В процесі розмиву корінних джерел, в різні етапи екзогенної еволюції кимберлітових площ, формувалися ореоли розсіювання і розсипища алмазів, які локалізуються в осадових породах різного віку і різних літодинамічних типів. Особливості утворення ореолів розсіювання мінералів-супутників алмазу визначаються умовами формування осадового колектора, в якому вони локалізуються, а розповсюдження алмазного матеріалу – розташуванням ландшафтно-динамічних зон сидементації [3; 8] (рис.1, табл.).

Для практичних потреб ореоли розсіювання мінералів алмазоносних порід класифікують за трьома основними параметрами [1; 3; 6; 9]: літодинамічними обстановками формування; характером взаємовідносин кимберлітових мінералів

з теригенними відкладами, які їх містять; дальністю перенесення мінералів від корінних джерел.

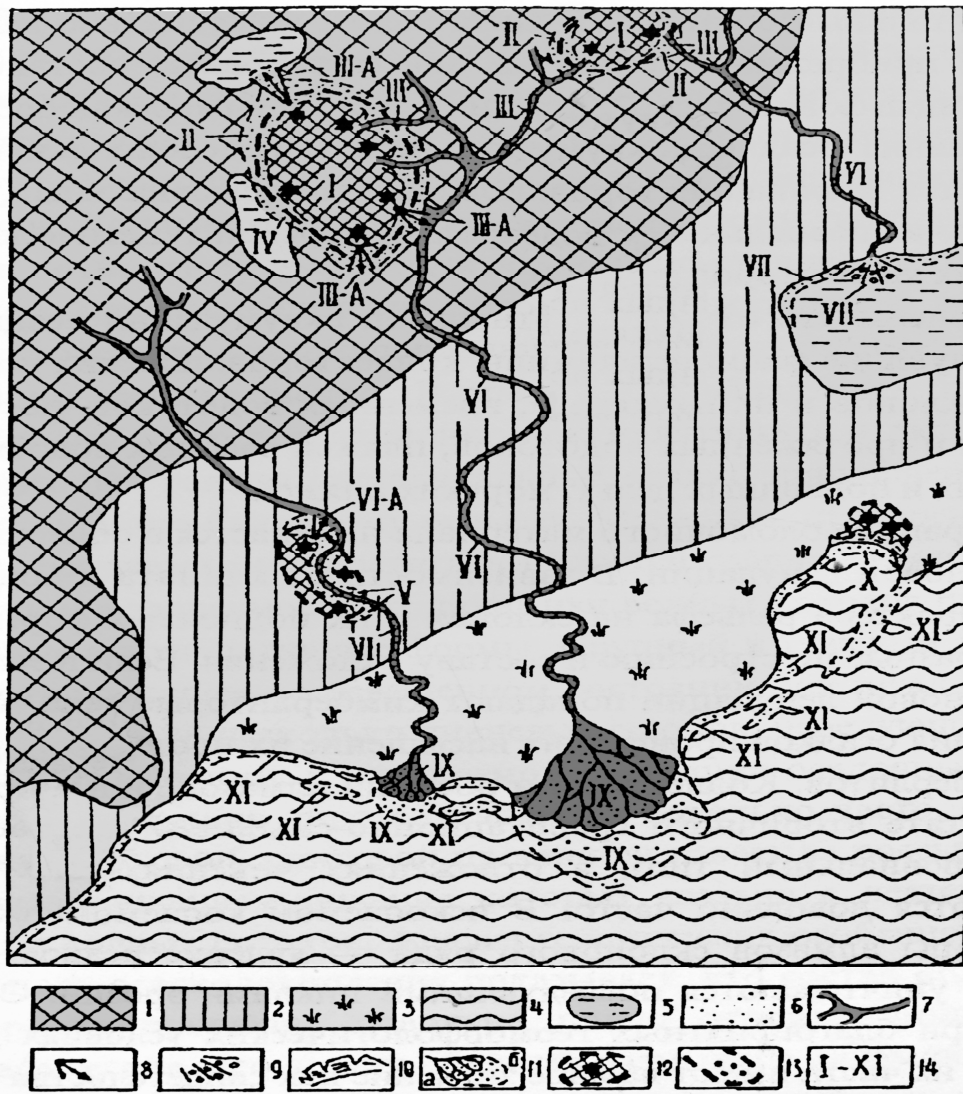


Рис. 1. Принципова схема розподілу осадових колекторів кімберлітових мінералів в різних седиментаційних обстановках (за [6] із змінами):

Ландшафтно-палеографічні обстановки сидементації 1 – низовинна денудаційно-аккумулятивна рівнина; 2 – низовинна алювіально-озерна аккумулятивна рівнина; 3 – алювіально-озерно-болотна прибережна аккумулятивна рівнина; 4 – морський басейн. Ландшафтно-динамічні зони сидементації: 5 – озерний басейн; 6 – аккумулятивні форми осадових колекторів алмазу; 7 – русла річок: постійні короткі водотоки, протяжні транзитні водотоки; 8 – конуси виносів і шлейфи рознесення пролювіальних відкладів; 9 – відклади приустевих виносів в кінцевих водоймах; 10 – локальні денудаційні виступи і абразивне узбережжя; 11 – дельти: а – відклади алювіально-дельтових рівнин (субаеральна частина дельти), б – відклади рухомого приустевого мілководдя морського басейну (авандельта); 12 – кімберлітоносні площі; 13 – реліктові поля розвитку древніх проміжних колекторів алмазу; 14 – класифікаційні типи осадових колекторів алмазу (див. табл.).

Схема класифікаційних типів древніх осадових колекторів

Обстановка	Середовище седиментації	Тип	Генетичний тип		Фаціальний тип
			Динамічний тип акумуляції	Динамічна форма акумуляції	Ландшафтна зона
Континентальна	Слабо розчленована денудаційно-акумулятивна рівнина (пенеплен)	I	Незміщені продукти гіпергенного перетворення порід	Елювіальна	Плоских височин
		II	Гравітаційно-змивного перерозподілу	Колювіально-делювіальна	Схилів та їх підніж
		III-A	Стокового перерозподілу	Пролювіальна	Тимчасових потоків
		III	Потокового переміщення	Алювіальна	Коротких водотоків
		IV	Кінцевих водойм	Підводно-алювіальна	Прибережних частин озерних водойм
	Алювіально-озерна низовинна акумулятивна рівнина	I	Незміщені продукти гіпергенного перетворення	Елювіальна	Локальних плоских височин
		V	Гравітаційно-стокового перерозподілу	Колювіально-делювіальна	Схилів і підніж
		VI-A	Стокового перерозподілу	Пролювіальна	Тимчасових потоків
		VI	Водних потоків	Алювіальна	Протяжних водотоків
		VII	Кінцевих водойм	Підводно-алювіальна	Приустеве мілководдя басейнів
Берегова	Пляжів крупних озерних водойм				
Перехідна	Алювіально-дельтова рівнина та прибережно-басейнові зони	VIII	Водно-стокового перерозподілу	Пролювіальна	Тимчасових водотоків
		IX	Водних потоків	Алювіальна	Коротких постійних водотоків
					Субаеральних дельт
X	Кінцевих водойм	Підводно-алювіальна (річкових виносів)	Підводних дельт		
Морська	Зовнішні шельфові частини морських басейнів	XI	Кінцевих водойм	Берегова	Морських пляжів
				Донна	Прибережних обмілин

В зв'язку з цим за генезисом виділено три основні типи шліхових ореолів кімберлітових мінералів – континентальні, прибережно-морські та проміжні (які сформувалися в перехідних ландшафтно-динамічних обстановках).

Для континентальних шліхових ореолів характерні наступні особливості:

- незначне механічне зношування мінералів;
- різноманітна гранулометрія мінералів;
- незначне сортування вихідних асоціацій мінералів за густиною;
- підвищена кількість в ореолах хімічно та механічно нестійких різновидів кімберлітових мінералів;
- приуроченість шліхових ореолів до корінних джерел живлення.

На відміну від континентальних, основними мінералогічними особливостями шліхових ореолів прибережно-морського генезису є:

- скруглення мінералів за рахунок тривалої обробки під дією хвиль і вздовж-берегових течій;
- сортування асоціацій мінералів за гідравлічною крупністю, що зумовлює поперечну зональність прибережно-морських ореолів – більш легкі та дрібні зерна зносяться глибше, а важкі накопичуються вище по пляжному схилі;
- незалежність розташування шліхових полів відносно корінних джерел, їх розташування визначається відносно берегової лінії морського басейну.

Сприятливим фактором максимального прояву прибережно-морських умов осадконакопичення, ознаки яких фіксуються на мінералах, є відносно відкритий та стабільний характер берегової лінії басейну та пологий пляж. Для ореолів, сформованих в таких умовах, характерні наступні ознаки: практично мономінеральна піропова (з алмазами і хромітами) асоціація; високий ступінь скруглення піропів, а також хромшпінелідів; переважання серед алмазів високосортних, бездефектних кристалів; дуже високий ступінь сортування мінералів.

Прибережно-морські ореоли нестабільної берегової лінії басейну, на відміну від попередніх, відрізняються наступними ознаками: в мінеральній асоціації разом з піропом може знаходитись скруглений до кульок пікроільменіт; піроп суттєво зношений, але в деякій мірі зберігає первинну морфологію зерен; серед алмазів присутня значна кількість октаедричних кристалів.

Основними ознаками ореолів перехідного типу є:

- піроп-ільменітова асоціація мінералів;
- сильне механічне зношення пікроільменітів, скруглення піропів незначне, типового морського зношення не досягають;
- сортування мінералів відносно невисоке, що характеризується значним гранулометричним спектром.

Таким чином, основна відмінність ореолів перехідного типу – підвищене зношення мінералів-супутників алмазу при полімінеральному складі та незначному їх сортуванні. Відповідно, ландшафтно-динамічні умови формування таких шліхових ореолів мали б забезпечити підвищене зношення мінералів при збереженні інших рис континентального літогенезу. Таким умовам відповіда-

ють прибережні алювіальні рівнини, особливості яких зумовлюють зрізаність берегової лінії моря, наявність замкнутих або напіввідкритих водойм, де в результаті дії хвиль здійснювалось підвищене механічне зношення мінералів.

Приведені відмінні ознаки ореолів континентального, прибережно-морського та перехідного типів характерні для первинних ореолів, в яких типові особливості шліхових мінеральних асоціацій відповідають фаціальному вигляду колектора. В більшості випадків древні ореоли розсіювання є гетерогенними, що пов'язано з багатоетапністю їх формування і перевідкладення значної частини шліхового матеріалу з більш древніх колекторів. При цьому такі риси ореолів, як ступінь механічного зношення, концентрація мінералів, ступінь сортування за гранулометриєю та густиною, в значній мірі спадкуються від початкового етапу утворення колектору. Відповідно, чим молодший колектор, тим більше етапів формування він проходить і тим більша кількість генерацій шліхових мінералів в ньому присутня. Максимальна кількість генерацій кімберлітових мінералів може бути присутня в сучасних потоках розсіювання – у водотоках, які розмивають кімберліти і древні осадові колектори [1; 3; 8].

Таким чином, за наявністю або відсутністю мінералів прямого розмиву кімберлітів виділяють змішані (містять мінерали прямого розмиву) і вторинні ореоли, які сформовані лише за рахунок перевідкладення мінералів-супутників з більш древніх колекторів. Серед вторинних ореолів розрізняють ореоли ближнього і дальнього перевідкладення, залежно від відстані, на яку переміщуються мінерали від першопочаткового їх залягання в більш древніх відкладах. Цей момент має важливе прогностно-пошукове значення, оскільки вторинні ореоли ближнього перевідкладення в деякій мірі зберігають закономірності першопочаткового розподілення кімберлітових мінералів, в зв'язку з чим можна використовувати ознаки локалізації за перевідкладеними континентальними ореолами [8]. Взагалі в процесі перевідкладення первинне розповсюдження кімберлітових мінералів порушується, що призводить до формування площадних шліхових ореолів. В тих випадках, коли перевідкладення кімберлітового матеріалу з більш раннього колектора супроводжується прямим розмивом корінного джерела, формуються змішані ореоли розсіювання.

Вигляд мінералів-супутників алмазу із кімберлітів (рис.2 а,б) є початковим для наступного перетворення. Асоціації кімберлітових мінералів, які поступають в осадки, зазнають складної еволюції в процесі формування ореолів і розсипищ під дією цілого ряду етапів екзогенного морфогенезу [1; 2; 8; 9]. Поведінка мінералів при проходженні осадового процесу визначається, як відомо, їх хімічною, фізико-механічною та гідроаеродинамічною стійкістю і умовами протікання осадового процесу.

В процесі транспортування кімберлітових мінералів водними потоками відбувається їх перерозподіл по щільності, гранулометрії, стирання магматогенних поверхонь, скульптур і поверхней сколу, на зернах мінералів формуються механогенні поверхні, зерна подрібнюються (рис. 2, в). Чим далі від корінного джерела розташований шліховий ореол, тим більше спостерігається

зменшення розміру зерен піропу і пікроільменіту. Розмір зерен кімберлітових мінералів в ореолах тісно пов'язаний із ступенем їх вторинного заміщення і тріщинуватістю в корінному джерелі. Вторинні продукти, які утворюються як по перефірії так і в середині зерен мінералів-супутників алмазу, різко знижують їх механічну міцність, тому мінерали навіть трохи зачеплені вивітрюванням, вже не далеко від корінного джерела перетворюються в дрібні уламки і пилоподібні частинки, які важко визначити в шліхах. Також крупність зерен мінералів-супутників алмазу в алювії, а також в прибережно-морських відкладах залежить від гідродинаміки потоку та тривалості перебування в хвилеприбійній зоні. При збільшенні дальності транспортування в піропа поступово згладжуються кути і ребра первинних сколів, частіше спостерігаються зерна з циркоподібними, кратерними і серпоподібними формами вибоїн, які при подальшому переносі внаслідок стирання стають нечіткими; руйнуються зерна зональної та блокової будови. В пікроільменіта перш за все руйнуються лейкоксенові оболонки, потім згладжуються кути і ребра на первинних сколах, руйнуються агрегатні зерна, і поступово він повністю стирається. Максимальна ступінь механічної обробки мінералів відбувається тільки в прибережно-морських умовах (рис. 2, г).

Різноманітні та дуже складні зміни поверхней зерен індикаторних мінералів кімберлітів здійснювались під дією гіпергенного вивітрювання, гідротермальних розчинів, діагенезу. Важливим фактором екзогенного перетворення кімберлітових мінералів є їх гіпергенне перетворення в корах вивітрювання кімберлітів експонованих на палеоповерхні, а також в проміжних колекторах. В зоні гіпергенезу, в проміжних колекторах зміна мінералів-супутників алмазу здійснюється при:

- реакціях розчинення з переходом речовини мінералу в навколишнє середовище;
- реакціях заміщення, коли мінерал заміщується іншою фазою або декількома фазами;
- корозійному розтріскуванні, внаслідок чого від поверхні його шару відшаровуються луски.

Інтенсивність гіпергенного вивітрювання мінералів визначається в основному їх структурними особливостями і хімічним складом, а також фізико-хімічними умовами вмісного середовища. Найбільш стійкими до руйнування є піропи з високим вмістом хрому, в наслідок чого мінеральні асоціації ними збагачуються [4]. Найменш стійкими до процесів вивітрювання є хромдіопсид, олівін, піроп; перших два мінерали в корах вивітрювання заміщуються карбонатами і глинистими мінералами, а піроп розчиняється з появою характерного рельєфу і каналів травлення на зернах. Крайніми формами гіпергенного перетворення піропів в корах є кубоїди та губчасті з'їдені безформні уламки (рис 2 д,е). Гіпергенно змінені зерна піропів в осадових колекторах є індикаторами древніх епох короутворення. Пікроільменіт і хроміт в проміжних колекторах і корах вивітрювання кімберлітів суттєвих перетворень не зазнають.

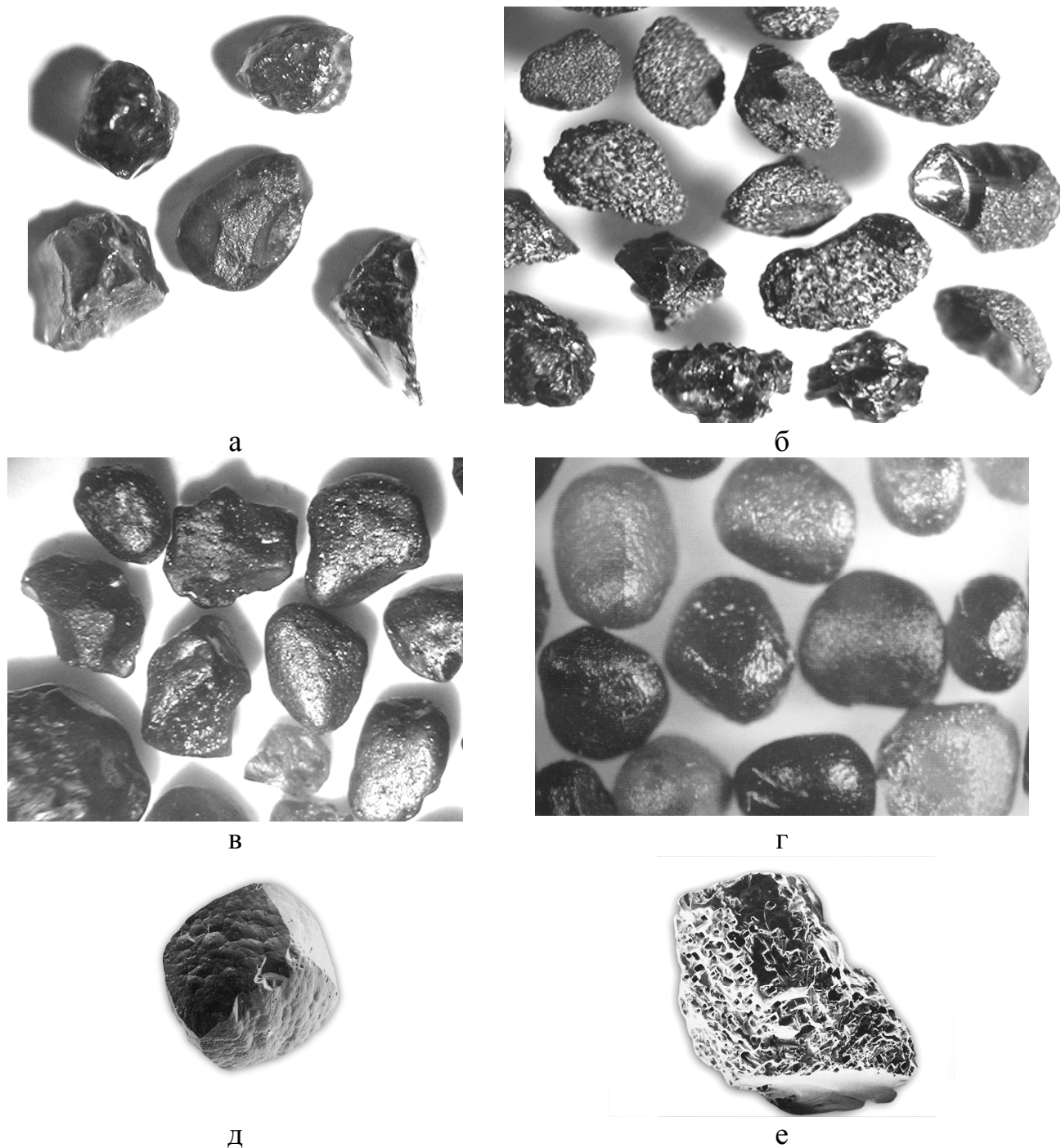


Рис. 2. Морфологічні особливості мінералів-супутників алмазу: а – незмінені піропи із кімберлітів; б – пікроільменіти з первинною шипуватою поверхнею; в – піроп-пікроільменітова мінеральна асоціація частково зношена в континентальних умовах; г – зношені піропи в морських умовах з накладеною гіпергенною корозією; д – кубоїд піропу, утворений в результаті гіпергенного розчинення монолітного зерна в корі вивітрювання кімберлітів; е – дислокаційний тип гіпергенної корозії на зернах піропів

Переміщення кімберлітових мінералів в континентальних умовах призводить до формування латеральної міграційної зональності ореолів і потоків розсіювання, які характеризуються накопиченням поблизу корінних джерел більш



крупних зерен і мінералів з більшою питомою вагою, перш за все – це пікроільменіт, який є чутливим індикатором дальності переміщення в зв'язку з невеликою механічною міцністю та наявністю на поверхні багатьох зерен абразивно нестійких первинних облямівок. Ознаки стирання на зернах пікроільменіту в континентальних умовах фіксуються на відстані перших десятках кілометрів від корінного джерела, олівину і піропу – 50 і більше кілометрів [5; 6; 8; 9]. Крайнім ступенем густинної диференціації є співвідношення піропу і пікроільменіту в ореолах далекого переносу, а також в ореолах з ознаками прибережно-морських умов формування. В них пікроільменіт відсутній або зустрічається дуже рідко, в той час як піроп досягає значних концентрацій. Механічне зношування на хромітах і алмазах в континентальних ореолах практично не проявляється, суттєва обробка цих мінералів здійснюється тільки в басейновій ландшафтно-динамічній обстановці.

**Висновки.** Ефективне використання шліхо-мінералогічного методу пошуків родовищ алмазів не можливе без детального і всебічного вивчення типоморфних особливостей мінералів-супутників алмазу. При цьому мають враховуватись основні закономірності міграції мінералів при формуванні шліхових ореолів, основними з яких є:

1. Особливості асоціацій кимберлітових мінералів в ореолах розсіювання визначаються двома основними факторами:
  - вихідними особливостями мінералів в корінному заляганні, в материнському джерелі;
  - характером та інтенсивністю екзогенних морфогенетичних процесів.
2. Дія екзогенних факторів (фізичних і хімічних) в процесі формування ореолів призводить до суттєвої трансформації первинного (вихідного) вигляду кимберлітової мінеральної асоціації – змінюється гранулометрія, співвідношення мінералів в асоціації в цілому та їх генерація в окремих групах мінералів, змінюється макро- і мікроморфологія зерен, а також в процесі перенесення і перевідкладення змінюються алювіальні (міграційні) супутники алмазу.
3. Найбільш суттєвий вплив на зміну індикаторних мінералів в осадових колекторах створюють: хімічне вивітрювання, механічна диференціація, механічне стирання мінералів при транспортуванні.
4. В осадових колекторах різноманітні та дуже складні зміни морфології зерен мінералів-супутників алмазу та характеру їх поверхні здійснюються під дією гіпергенезу, діагенезу, гідротермальних розчинів.
5. Максимальні концентрації кимберлітових мінералів приурочені до корінних джерел, що зумовлює пониження рухомої здатності мінералів в товщі алювію та швидким збідненням асоціації, що транспортується.
6. Дальність перенесення продуктів денудації кимберлітів оцінюється як за складом і виглядом мінеральних асоціацій, так і за літолого-фаціальними особливостями колекторів.

#### Список літератури

1. Афанасьев В.П. Закономерности эволюции кимберлитовых минералов и их ассоциаций при формировании шлиховых ореолов // Геология и геофизика. 1991, №2. – С. 78-84.

2. Афанасьев В.П., Варламов В.А., Гаранин В.К. Зависимость износа кимберлитовых минералов от условий и дальности транспортировки // Геология и геофизика. 1984, №6. – С. 92-98.
3. Афанасьев В.П., Зинчук Н.Н. Основные литодинамические типы ореолов индикаторных минералов кимберлитов и обстановки их формирования // Геология рудных месторождений. 1999. Т.41 №3. – С. 281-288.
4. Афанасьев В.П., Соболев Н.В., Харьков А.Д. Эволюция химизма ассоциации пиропов в древних ореолах рассеяния // Геология и геофизика. 1984, №2. – С. 137-141.
5. Геология промежуточных коллекторов алмазов / А.А. Немиров, А.И. Скрипнин, В. И. Сафьянников и др. – Новосибирск: Наука, 1994.
6. Подвысоцкий В.Т., Белов Е.Н. Состав и условия формирования древних осадочных коллекторов и россыпей алмазов. – Якутск, 1995.
7. Подвысоцкий В.Т., Зинчук Н.Н., Афанасьев В.П. Морфологические особенности индикаторных минералов из осадочных коллекторов и россыпей алмазов различных генетических типов Сибирской платформы / ЯНИГП ЦНИГРИ АК “АЛРОСА”. – Мирный, 2000.
8. Харьков А.Д. Минералогические основы поисков алмазных месторождений. – М: Недра, 1978.
9. Харьков А.Д., Квасница В.Н., Сафонов А.Ф., Зинчук Н.Н. Типоморфизм алмаза и его минералов-спутников из кимберлитов. – Киев: Наукова думка, 1989.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Барановим П.М.  
Надійшла до редакції 24.05.2013*

УДК 553.96

© И.Л. Сафронов, А.М. Чернорай

## **КАЧЕСТВО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕЙ НОВО-ДМИТРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Рассматриваются основные показатели качества и технологические свойства углей Ново-Дмитровского месторождения. Приведены основные направления их использования.

Розглядаються основні показники якості і технологічні властивості вугілля Ново-Дмитрівського родовища. Приведені основні напрями його використання.

The basic indexes of quality and technological properties of coals of Novo-Dmitrovskogo of deposit are examined. Basic directions of their use are resulted.

По происхождению и вещественно-петрографическому составу угли Ново-Дмитровского месторождения принадлежат к подгруппе бурых гумусовых углей. Отражательная способность группы витринита изменяется от 5,8 до 6,2 (средняя 6). По петрографическому составу угли преимущественно аттритовые (мягкие, землистые) и гелитовые (плотные).

По особенностям внешнего вида (цвет, сложение) разделены на три группы:

1. Черные гелитовые угли.
2. Темно-коричневые и коричневые аттритовые угли.
3. Светло-коричневые липидо-гелитовые угли.

Группа черных гелитовых углей по результатам детальных петрографических исследований представлена хрупкими, плотными углями черного цвета, обладающими гелитовым сложением и тонкослоистой текстурой. Микроскопически они состоят из сильно остудневшего красного аттрита, терригенных примесей и мелких форменных элементов. Содержание минеральных примесей колеблется в пределах 24,5–40,2 %. Угли характеризуются частыми намывами глинистого, глинисто-кремнистого, реже алевритового и карбонатного материала и представляют собой частое переслаивание достаточно чистого или более зольного угля.

Среди гелитовых углей выделены следующие типы: телогелиты, кутинито-паренхогелиты, фюзинито-гелиты, экзинито-телогелиты.

Гелитовые угли полностью слагают Верхний горизонт и характерны для Сложного горизонта. Они характеризуются низким содержанием серы. При рассмотрении соотношений типов серы наблюдается преобладание пиритной серы. Отмечается высокий выход летучих веществ и низкие значения теплоты сгорания.

Группа темно-коричневых и коричневых аттритовых углей по результатам микроскопического и петрографического изучения представлена мелким растительным аттритом рыхлого землистого сложения с присутствием обломков лигнита. Угли гораздо светлее гелитовых – коричневые и темно-коричневые. По своей текстуре являются массивными и скрытослоистыми.

Среди аттритовых углей установлены следующие петрографические типы: телогелиты, паренхогелиты, резинито-телогелиты, резинито-фюзинито-гелиты, экзинито-телогелиты.

Аттритовые угли играют главную роль в составе Основного пласта. По данным технических анализов угли малозольные. Зола представлена глинистыми частицами или песчаными и алевритовыми зернами кварца. Угли характеризуются высоким содержанием органической серы, высоким выходом летучих веществ, высокой теплотой сгорания и высоким содержанием водорода.

Группа светло-коричневых липоидо-гелитовых углей по результатам петрографического описания характеризуется светло-коричневой до желтой окраской. Угли плотные, массивные по текстуре с неровным и остроугольным изломом. Микроскопически представлены желтым аттритом, являющимся продуктом разложения лигнита и суберинита. Угли часто обогащены глинистыми примесями и имеют серый оттенок.

Среди структурных микрокомпонентов наиболее распространены коровые ткани: желтые – суберинит и красные – феллинит.

Липоидо-гелитовые угли наблюдаются в Основном (до 7 %) и Сложном (до 1 %) горизонтах. Они характеризуются высоким содержанием органической серы, высоким выходом летучих веществ, высокой теплотой сгорания и высоким содержанием водорода.

Разрез Ново-Дмитровского месторождения состоит из пяти продуктивных горизонтов. Основные характеристики качества углей по пластам приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Основные характеристики качества углей по пластам

Показатель качества	I <sub>1</sub>	III <sub>2</sub>	IV <sub>1</sub>	IV <sub>2</sub>	IV <sub>3</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>
Технологическая группа	Б2-1	Б1-2	Б1-1	Б1-2	Б1	Б1	Б1
Массовая доля общей рабочей влаги, %	38-54,6 (43,5)	44,2-64 (50,1)	44-57 (52,7)	45,2-60,2 (52,2)	45-58 (50,2)	45,4-60,8 (54,2)	47-58,2 (56)
Зольность сухого топлива, %	26,1	5,6-15,8 (8-12)	11,2-39,9 (27,8)	9,6-39,9 (24,5)	20-39,8 (33,3)	13-33,5 (26,3)	21,4-40 (34,5)
Высшая теплота сгорания, ккал/кг	6234-7106 (6847)	6204-7410 (7099)	6327	4898-8069 (6589)	5743-6402 (6084)	5820-6805 (6323)	5825-6264 (5979)
Низшая теплота сгорания, ккал/кг	2429	2560	1668	1906	1412	1394	1142
Выход летучих веществ, %		58,3					
Массовая доля общей серы, %	1,5	0,5-4,7 (2,7)	3,5	0,2-7,6 (2,2)	1,2-4,9 (3)	1,4-3,7 (2,5)	0,9-5,5 (2)
- сульфатная		0,14	0,11	0,11	0,15	0,14	0,09
- пиритная		0,35	1,5	0,89	1,18	1,9	1,16
- органическая		3,3	1,62	1,56	1,9	0,42	0,42
Группа по зольности (ГОСТ)	3,4,5	1	4,5	1-5 (3,4)	5	4,5	5
Температура плавления золы, °С	1057-1374	1054-1376	1055-1380	1028-1380	1060-1400	1024-1284	1050-1335
	легкоплавкие						
Выход гуминовых кислот, %	45,84	46,97-65,51	53,8-58,4	47,72-76			
Выход продуктов полукоксования на горючую массу, %							
- смола	9,58	14,24-18,06	6,51-7,14	6,51-10,38			
- полукокс	70,15	56,82-58,33	66,27-69,14	60,69-69,14			
- пирогенетическая вода	9,24	6,11-11,66	10,85-11,7	9,54-13,66			
- газ и потери	11,01	16,59-17,5	13,5-14,89	12,58-15,27			
Выход битума, %	6,03-10,77	10-15	до 7	до 13			
Воск (%)		56-62					
Средний объемный вес, г/см <sup>3</sup>		1,15	1,24	1,19	1,21	1,22	1,25

Линза I<sub>1</sub> Нижнего продуктивного горизонта сложена в основном черным гумусовым углем со значительным количеством лигнита, по петрографическим признакам относимого к липоидо-микстогелитовому типу. Гетерогенная основа

мелкоаттритового характера содержит значительное количество склероций. Среди структурных компонентов значительное участие принимают феллиниты и паренхиты. Среди гумусового угля этого типа встречаются тонкие прослой сапропелево-гумусового угля, состоящего в значительной степени из водорослей и оболочек микроспор.

Минеральные примеси в углях представлены главным образом песчинками кварца, пиритом и глинистым материалом. Они образуют гнездовидные скопления, линзочки или тонко рассеяны в основной массе угля.

За счет сложного строения пластовая зольность (25,1 до 39,5 %) значительно выше зольности чистого угля (26 %). По количеству  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  зола кислого характера. Средний химический состав золы представлен в табл.2.

Второй продуктивный горизонт (II) и пласт III<sub>1</sub> промышленного значения не имеют, поэтому их петрографический состав и качество не изучались.

Основной продуктивный горизонт включает наиболее мощную угольную линзу III<sub>2</sub> с характерной мощностью 40–60 м (макс. 74 м), которая определяет промышленную ценность месторождения.

По результатам макроскопического изучения уголь темно-коричневый с редкими прослоями светло-коричневого аттритовой структуры. Содержит значительное количество смоляных зерен и фюзена. Состоит из аттритового угля (88 %), гелито-аттритового угля (5 %) и лигнитов (7 %).

Минеральные включения немногочисленны и представлены рассеянными зернами кварца или глинистыми частицами, гнездами глины, реже аутигенным пиритом.

Уголь малозольный. Средний химический состав золы представлен в табл.2. Отчетливая обратная связь между содержанием золы в угле и мощностью угольного пласта указывает на закономерное повышение зольности угля в направлении от центра впадины к ее окраинам. Установлена прямая зависимость между мощностями угольного пласта и угленосной толщи.

Таблица 2

Средний химический состав золы в %

Продуктивные горизонты		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	CaO	MgO	$\text{SO}_3$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{Na}_2\text{O}$
Нижний	I <sub>1</sub>	50,93	20,49	3,2	12,45	1,67	9,6	0,54	0,63
Основной	III <sub>2</sub>	23,65	6,34	1,37	28,75	3,54	38,94	0,4	0,59
Сложный	IV <sub>1</sub>	60,54	17,75	6,47	5,93	1,4	4,48	1,02	0,45
	IV <sub>2</sub>	39,69	18,62	1,83	18,08	2,9	15,49	0,66	0,52
	IV <sub>3</sub>	53,6	23,6	3,84	8,07	1,64	6,22	1,4	0,59
Верхний	V <sub>1</sub>	44,21	17,45	12,49	10,85	2,89	8,6	2,09	0,9
	V <sub>2</sub>	50,6	18,74	11,34	8,12	2,6	5,41	1,92	0,72

В углях наблюдается четкая закономерность распределения серы по простиранию пласта и в вертикальном разрезе. Высокосернистые угли приурочены к центральной, наиболее погруженной части месторождения. Установлена прямая зависимость между содержанием серы в угле и мощностью пласта. Непосредственно в кровле Основной линзы залегает толща сульфатно-карбонатных пород, содержащих самородную серу. Характерным является закономерное

снижение сернистости угля в направлении сверху вниз – от кровли пласта к ее почве. Преобладание органической серы указывает на то, что она была привнесена туда водами уже после его образования и является эпигенетической. Источником серы служит горизонт серосодержащих пород, залегающий непосредственно выше Основного горизонта (рис. 1).

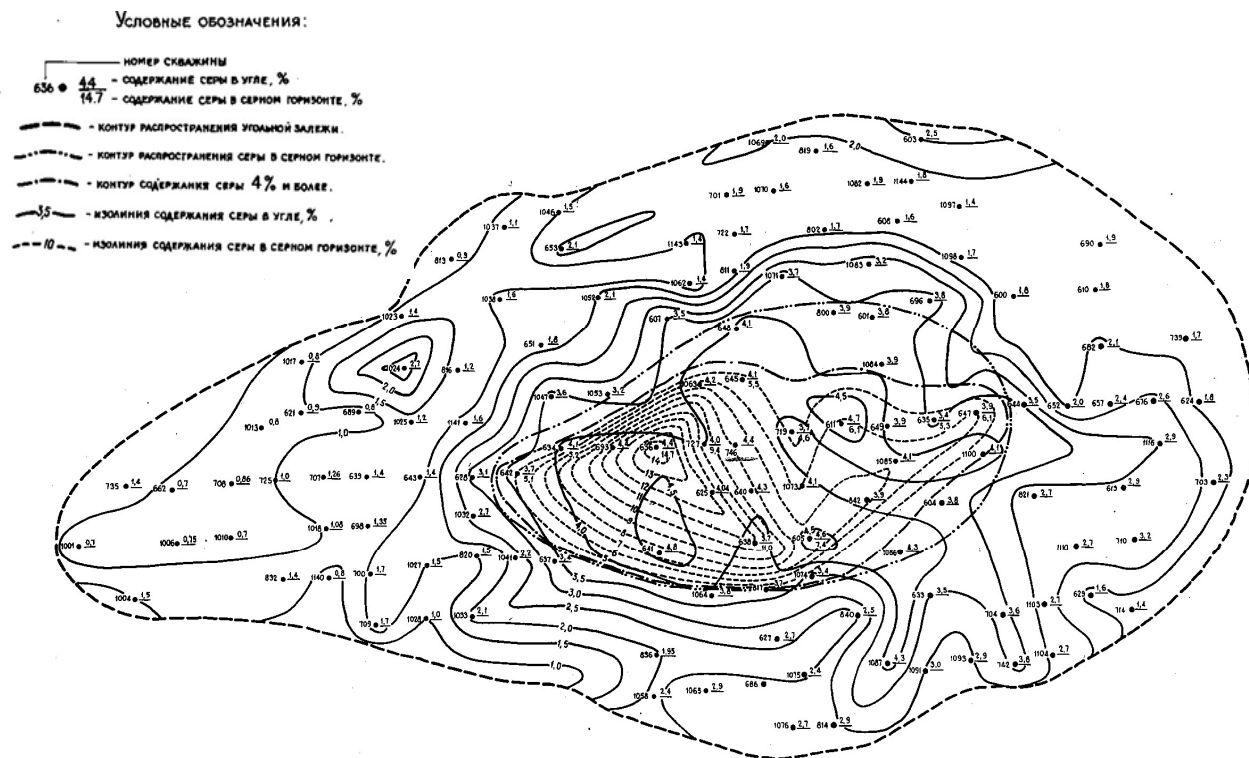


Рис. 1. План изолиний содержания серы Основной угольной залежи (III<sub>2</sub>) и серного горизонта

Сложный продуктивный горизонт состоит из четырех пластов. Два нижних (IV<sub>1</sub> и IV<sub>2</sub>) имеют близкий петрографический состав. Угли верхних пластов (IV<sub>3</sub> и IV<sub>4</sub>) более плотные и содержат значительную примесь глины.

Макроскопически уголь Сложного горизонта темно-коричневый до черного, содержит до 25 % обломков лигнитизированной древесины. По сравнению с Основным горизонтом уголь темнее, более плотный, слоистый. Содержит значительное количество остатков корней. По петрографическому составу представлен переслаиванием аттринито-гелитового угля (до 75 %) с зольным углем и безугольными породами.

Минеральная примесь в углях представлена в основном глинисто-алевритистым материалом (более 10–20 %), образующим линзочки или тонко рассеянным в основной массе угля. Широко развит аутигенный пирит, содержание которого местами достигает 30 %.

Так же как и по Основному горизонту, в углях пласта IV<sub>2</sub> видно закономерное повышение зольности в направлении от центра к периферии. Установлена также обратная связь между содержанием золы в угле и мощности пласта. Средний химический состав золы представлен в табл.2.

Верхний продуктивный горизонт состоит из двух пластов ( $V_1$  и  $V_2$ ) имеющих близкий петрографический состав. Макроскопически уголь почти черный, плотный, слоистый. Содержит обломки лигнита и большое количество минеральной примеси (10–30 %). Горизонт сложен плотным гелитовым зольным углем, с участием кутинито-паренхогелитов. Гетерогенная часть угля представлена сильно остудневшим волокнистым аттритом. Минеральные компоненты тонко переплетены с органической частью или же представлены в виде намывов, прослоев и катышей глины.

Для всех горизонтов месторождения характерна прямолинейная зависимость объемного веса от содержания золы. Последняя плавно возрастает от центра к бортам депрессии синхронно с уменьшением мощности угольных залежей.

Теплотехнические свойства углей изучались во Всесоюзном теплотехническом институте (ВТИ) по Основному ( $III_2$ ) и Сложному ( $IV_1, IV_2, IV_3$ ) горизонтам. Проведенные исследования приводят к таким выводам:

1. Угли месторождения относятся к классу гумусовых. Согласно классификации бурых углей Украины (ГОСТ) относятся по содержанию рабочей влаги к первой группе, по выходу смолы ко второй подгруппе. Марка углей Б-1-2.

2. По физико-химическим характеристикам они весьма сходны с молодыми бурными углями Украины и Южно-Уральского бассейна.

3. Угли Ново-Дмитровского месторождения могут быть рекомендованы в качестве топлива для тепловых электростанций. Высокий выход летучих веществ позволяет сжигать уголь в виде грубой пыли. Вязкостные характеристики шлака допускают надежное его удаление из топки в жидком состоянии. Высокое содержание серы в топливе и окиси кальция в золе обусловят, по видимому, образование отложений в трубках экранов и пароперегревателей, а также засорение труб воздухоподогревателей. Коррозия последних будет практически отсутствовать.

Изучение химико-технологических свойств углей Ново-Дмитровского месторождения проводилось в Днепропетровском химико-технологическом институте (ДХТИ) по технологическим пробам, что позволило сделать такие выводы:

1. Угли Основной залежи ( $III_2$ ) малозольные ( $A^o - 13,6\%$ ), сернистые ( $S^c_{об} - 3,3\%$ ) с высокой теплотой сгорания ( $Q_6^r - 7150$ ), высокий выход первичной смолы (15 %) и спирто-бензольного экстракта (12 %) указывают на их ценные химико-технологические свойства и возможность разностороннего комплексного использования.

2. Они пригодны для переработки методом полукоксования либо по комплексной энергохимической схеме для получения ценных жидких продуктов.

3. Низкая шлакуемость золы и высокая реакционная способность углей позволяет сжигать их в современных топках либо газифицировать с целью получения технологических газов.

4. Высокий выход битумов (до 11 %) и высокое содержание в битумах восков (56–62 %) позволяют на базе этих углей организовать производство монтан-воска.

5. Угли пластов Сложного и Верхнего продуктивных горизонтов высокозольные, но менее сернистые; предпочтительное направление их использования – энергетика; залежи  $IV_1$  и  $IV_3$  могут использоваться как сырье для получения пара и электроэнергии, необходимое для брикетирования.

Исследования брикетов производилось в промышленных условиях на Александрийской брикетной фабрике. Результаты испытаний показывают:

1. Угли легко брикетируются без связующих добавок; полученные брикеты по механической прочности и водостойчивости полностью отвечают предъявляемым требованиям.

2. Влагоустойчивость брикетов высокая (после 2-х часового пребывания брикета под водой процент поглощения воды ниже 3 %);

3. При исследовании термоустойчивости брикетов в муфельной печи (850 °С) горение не сопровождалось разрушением их цилиндрической формы, минеральный остаток не сплавлялся.

4. Варьирование оптимальных параметров углей Основного горизонта в широких пределах (влажность 6–14 %, крупность от 0–6 до 0–3 мм и ниже, давление прессования 800–1200 кг/см<sup>2</sup>, температура нагрева 40–100 °С) существенно не меняет механические качества, следовательно технология брикетирования соответствует обычной, применяемой на буроугольных брикетных фабриках для молодых бурых углей.

5. При оптимальных параметрах брикетирования углей Сложного горизонта (измельчение 3–0 мм, влажность 13–21 %, давление прессования 500 кг/см<sup>2</sup>, температура нагрева 40 °С) прочность полученных брикетов на истирание составляет 90–94 %; рекомендуется термическая обработка брикетов в установке с твердым теплоносителем с целью получения из них бездымного топлива, газа и химических продуктов.

Таким образом, вышеизложенные детальные исследования бурых углей Ново-Дмитровского месторождения позволяют сделать такие выводы:

1. Угли Основного горизонта ( $III_2$ ) и пласта  $IV_2$  Сложного горизонта являются хорошим сырьем для производства высококачественных брикетов.

2. Угли Основного горизонта ( $III_2$ ) пригодны для химико-технологической переработки, могут быть использованы для получения монтан-воска.

3. Угли всех пластов могут служить топливом для электростанций.

#### Список литературы

1. Буцик Ю.В., Косенко Б.М., Левенштейн М.Л. и др. Уникальное месторождение бурого угля северо-западных окраин Донбасса. Геол. Журнал АН УССР, т. XXVI, Вып.6, 1966 г.
2. Михелис А.А. Вещественный состав и строение буроугольных пластов Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины. В кн. “Геология угольных месторождений”, т. II, М., изд-во “Наука”, 1971 г.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Барановим В.А.  
Надійшла до редакції 18.04.2013*



## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОЧИСТНЫХ РАБОТ НА ЗАО «ЗАПОРОЖСКИЙ ЖЕЛЕЗОРУДНЫЙ КОМБИНАТ» С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Представлены результаты проектирования очистных работ с применением имитационного моделирования.

Представлені результати проектування очисних робіт з застосуванням імітаційного моделювання.

Results are presented of planning of cleansing works with the use of imitation design.

ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» – одно из крупнейших предприятий горно-металлургической отрасли Украины, созданное на базе Южно-Белозерского месторождения железных руд. Руда ЗАО «ЗЖРК» – богатая по содержанию железа, и на металлургические комбинаты поставляется без обогащения. Содержание железа по месторождению колеблется от 48 до 69 %.

Для разработки крутопадающего месторождения залегающего в сложных горно-геологических условиях на ЗАО «ЗЖРК» применяется камерная система разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. В настоящее время при подготовке и эксплуатации горизонтов 740, 840 и 940 м используется комплекс современного зарубежного оборудования, в состав которого входят: буровые каретки «Boomer» шведской фирмы «Atlas Copco», погрузочно-доставочные машины «Toro» финской фирмы «Sandvik Tamrock», буровые станки «Simba», буровые станки для прохождения восстающих «Robbins».

ЗАО «ЗЖРК» является одним из ведущих предприятий в стране, которое использует не только современное самоходное оборудование для добычи полезных ископаемых, но и передовые научно-технические разработки, что позволило увеличить объем производства за последние 10 лет на 1 млн. тон руды в год.

Одним из методов принятия управленческих решений на ЗАО «ЗЖРК» является имитационное моделирование, в процессе которого формируются варианты возможных выходных параметров деятельности.

В условиях современной рыночной экономики управленческая деятельность крупных промышленных предприятий сопряжена с целым спектром различных рисков. В этой связи необходимо акцентировать особое внимание на управленческом прогнозировании в контексте уменьшения возможных финансовых потерь. Имитационное моделирование, по сути, является единственным методом решения подобного рода задач.

С точки зрения компьютерной реализации имитационное моделирование – это комплексный метод исследования сложных систем на ЭВМ, включающий построение концептуальных, математических и программных моделей, выполнение широкого спектра целенаправленных имитационных экспериментов, обработку и интерпретацию результатов этих экспериментов.

Основные задачи, решаемые в программном обеспечении «SingleBlast»

Решаемые задачи	Реализация в программном обеспечении
<ul style="list-style-type: none"> <li>– обработка маркшейдерских данных, построение имитационной модели горных выработок по данным теодолитных съемок как на планах и разрезах, так и в трехмерном отображении;</li> <li>– отображение в трехмерном пространстве расположение горных выработок, геологических (рудного тела) и технологических (очистная камера, закладка выработанного пространства) контуров;</li> <li>– взаимодействие сечений в трехмерной модели с документами планов горных работ.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– текущее и перспективное планирование ведения горных работ;</li> <li>– составление планов ведения очистных работ, как для выемочного участка, так и для всего шахтного поля в целом;</li> <li>– ведение базы данных геологической информации;</li> <li>– ведение графической документации.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– проектирование бурения скважин при различных горно-геологических и технологических параметрах;</li> <li>– определение технологических параметров вееров и рядов эксплуатационных скважин и их графическое отображение.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– расчет расхода взрывчатых материалов, объем отбиваемой рудной массы, опасных зон по действию УВВ и сейсмобезопасного расстояния для инженерных сооружений и подземных горных выработок, время проветривания рудника после массового взрыва;</li> <li>– совместимость данных с программами AutoCAD и Excel.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>– автоматическое составление отчетов по полученным данным.</li> </ul>	

На сегодняшний день информационные технологии позволяют создавать имитационные модели ведения очистных работ и разрабатывать системы автоматизированного проектирования горных предприятий. Одной из таких систем является программное обеспечение «SingleBlast», разработанное ведущими специалистами Национального горного университета. «SingleBlast» отличается тем, что оно разработано с помощью языка программирования Visual C++ с применением мощных визуальных средств разработки интерфейса пользователя для конкретных горнотехнических условий ЗАО «ЗЖРК».

Разработка программного обеспечения велась поэтапно с 2000 г., и сейчас оно позволяет решать следующие основные задачи (таблица 1).

Представленное программное обеспечение позволяет по заданным параметрам проектировать горные работы любой сложности. Полный цикл взаимодействия служб по данной программе выглядит следующим образом.

Геологический отдел предоставляет контуры рудной залежи с качеством полезного ископаемого и крепостью вмещающих пород. Проектировщики создают папку с названием горизонта и на основании информации, полученной от геологического отдела (с положением контура рудного тела на заданном горизонте) на электронной модели шахты, находящейся в компьютерной сети комбината, наносят проектную трассировку выработок. Затем, по аналогии с планами шахтного поля, геологический и маркшейдерский отделы предприятия создают вертикальные разрезы шахтного поля (рис. 1).

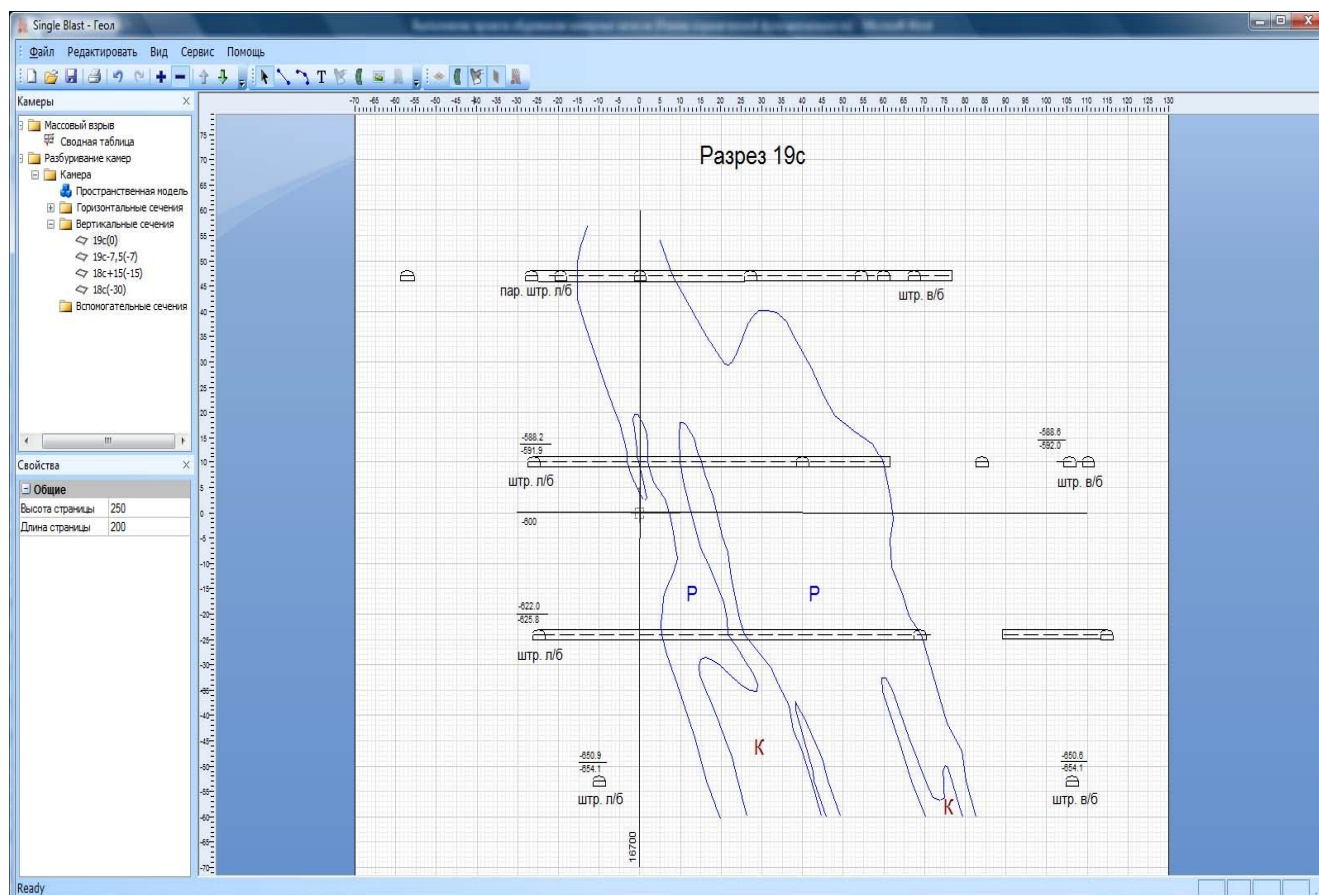


Рис. 1. Разрез по оси 19с шахтного поля в этаже 640–740 м ш. «Эксплуатационная» ЗАО «ЗЖРК»

На каждом разрезе производится привязка координат, определяются высотные отметки, характеристика падения рудной залежи, видны сечения ранее спроектированных горных выработок. Технические службы шахт «Эксплуатационная» и «Проходческая» имеют постоянный доступ к процессу работы ПКО для подачи предложений. Приоритет внесения изменений в проект остается за той службой, которая наносила этот слой изображения.

После окончания проходческих работ рудный контур уточняется геологическим отделом. Затем документ передается в маркшейдерский отдел для контроля и нанесения фактического положения проходки горных выработок.

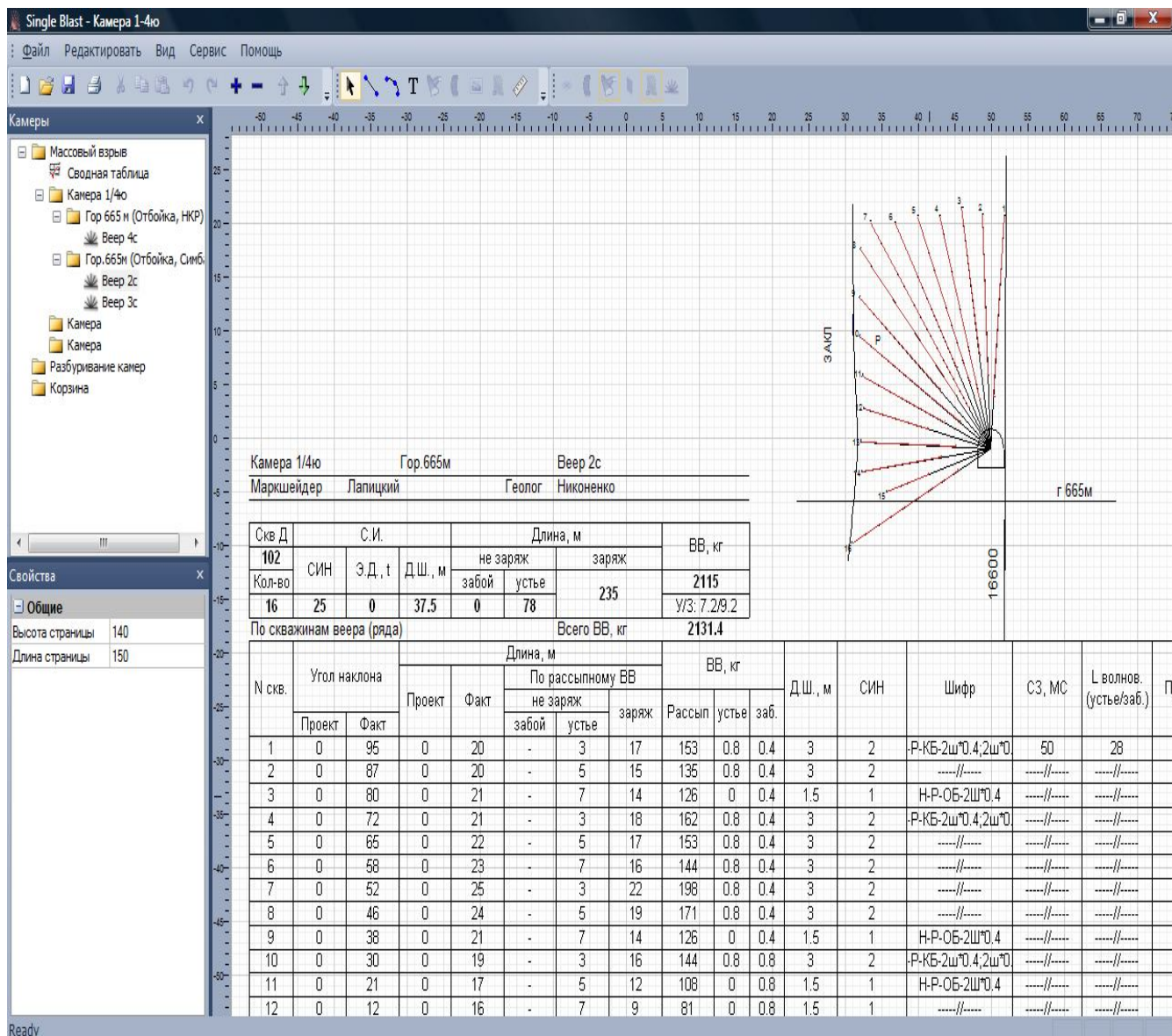
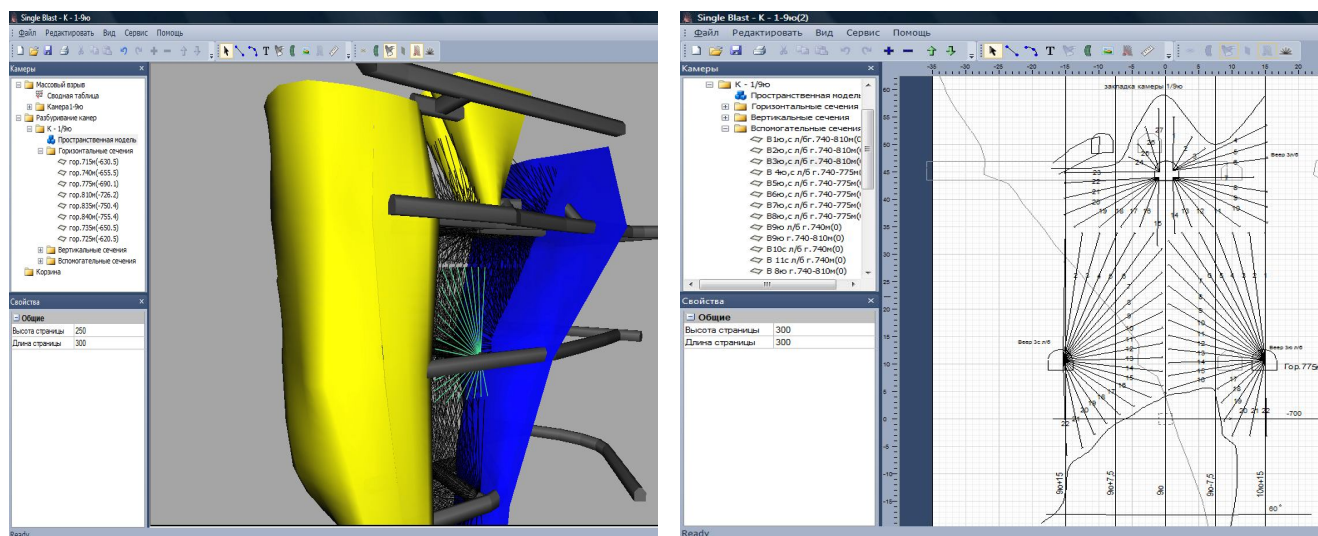


Рис. 2. Расчетная карточка веера скважин

Созданная модель шахтного поля передается по локальной сети в проектно-конструкторский отдел, где выполняется проект на обустройство заданной камеры. После согласования и утверждения данного проекта он передается для дальнейшей работы в маркшейдерский отдел и производителю работ.

Фактические данные по длинам скважин и по рудному контуру после обуривания вееров определяются соответственно маркшейдерским отделом и геофизической службой геологического отдела и вносятся в файл данной камеры. После внесения данные по сети передаются в ПКО для составления проектов на производство массовых взрывов (рис. 2).

С помощью представленного программного обеспечения инженеры ЗАО «ЗЖРК» проектируют имитационные модели очистных камер (рис. 3), где отображают динамику горных работ от нарезных до закладочных, перенося эти процессы на планы и разрезы шахтного поля, тем самым составляя проекты отработки камер.



а) трехмерная модель камеры

б) плоскость бурения камеры

Рис. 3. Имитационная модель камеры

В ноябре 2009 г. по приглашению руководителей ОАО «Комбинат «КМА-руда» разработчики программного обеспечения «SingleBlast» выступили на расширенном техническом совете, который проходил совместно с сотрудниками научно-исследовательского института ФГУП ВИОГЕМ, где представили свои результаты работы с ЗАО «ЗЖРК» по применению программного обеспечения:

- Создаваемое программное обеспечение позволяет в 15–20 раз снизить трудоемкость работ и время проектирование технической документации ведения очистных работ.
- Программное обеспечение играет роль центрального информационного ресурса для руководства, инженеров и специалистов ЗАО «ЗЖРК». Оперативная работа с горнотехнической документацией обеспечивает более тесную связь между всеми группами работников и подразделениями.
- Автоматизация составления технической документации ведения горных работ открывает новые возможности прогнозирования, проектирования и ана-

лиза горнотехнической документации, выполнения ряда новых функций. Соответственно, инженеры ЗАО «ЗЖРК» принимают более эффективные решения, учитывающие различные тонкости конкретной ситуации.

• Внедрение программного обеспечения способствует дальнейшему развитию и внедрению компьютерных технологий в проектирование горных работ, повышению уровня подготовки сотрудников.

В процессе работы с программным обеспечением по проектированию и моделированию горных работ на предприятии совершенствуется технология, ведутся работы по уменьшению разубоживания руды и более полному ее извлечению. Внедрение новых технологических решений, смоделированных при помощи программного обеспечения «SingleBlast» позволило повысить извлечение железной руды, снизить удельный расход выработок, снизить затраты на строительство погрузочно-доставочных выработок, упростить обработку камер.

На основе опыта работы с ЗАО «ЗЖРК» можно создавать имитационные модели для любых горнодобывающих предприятий. Это позволит проводить анализ управленческих решений в общей структуре горного предприятия, изучать влияние изменений технологических параметров предприятия на его производственные характеристики, вести техническую документацию производственных служб. Применение имитационного моделирования в различных подразделениях позволит сократить сроки поиска оптимальных проектных решений, снизить управленческие риски и повысить эффективность работы горного предприятия в целом.

#### Список литературы

1. Кучерявенко И.А. Автоматизированное проектирование подземных рудников. Учеб. Пособие. – К: УМК ВО, 1992. – 244 с. +1 вкл.
2. Владимир Ш.А. Borland C++ Builder 6. – СПб.: Питер, 2003г. – 798 с.
3. Проектирование и расчет систем разработки рудных месторождений /В.К. Мартынов. – Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1987. – 216 с.
4. Капленко Ю.П., Колосов В.А. Моделирование технологии очистной выемки, обеспечивающей повышение показателей извлечения руды. - Кривой Рог. Минерал, 2001. – 177 с.
5. Кучерявенко І.А. Проектування підземних рудників /Підручник для вищих навчальних закладів. – К.: ІСДО, 1995. – 248 с.
6. Бурчаков А.С., Малкин А.С., Устинов М.И. Проектирование шахт: Учебник для вузов. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 399 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бондаренком В.І.  
Надійшла до редакції 25.04.2013*

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СТРУЙНОНАСОСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОДВОДНЫХ ГОРНЫХ РАБОТ**

Разработано грунтозаборное устройство, предназначенное для освоения обводненных и подводных месторождений со значительным содержанием крупного гравия. Опытно-промышленные испытания струйного грунтозаборного устройства как основного элемента эжекторного землесосного снаряда показали его технологическую и экономическую эффективность.

Розроблено грунтозабірний пристрій, який призначений для освоєння обводнених і підводних родовищ зі значним вмістом крупного гравію. Дослідно-промислові випробування струменевого грунтозабірного пристрою як головного елементу ежекторного землесосного снаряду показали його технологічну та економічну ефективність.

A ground feeders, intended for treating of flooded and submarine deposits with high content of large-sized gravel, is developed. Experimental-industrial tests of ejector ground feeders as a basic element of ejector dredgers showed his technological and economic efficiency.

Существующее разнообразие горнодобывающей техники для разработки обводненных и подводных песчано-гравийных месторождений, представленных на рынке Украины как отечественного, так и импортного производства, позволяет выбрать нужное оборудование для подавляющего большинства вариантов при компоновке добычных комплексов. В то же время на отечественном рынке отсутствуют предложения комплексов добычи и транспортирования, применимых для разработки специфических сложноструктурных месторождений. К таким можно отнести речные, озерные, обводненные песчано-гравийные рудные и нерудные месторождения со значительным содержанием крупного гравия.

Разработка таких месторождений с помощью землесосных снарядов традиционной конструкции на базе грунтовых насосов ввиду их конструктивных особенностей сопряжена с рядом трудностей. И основная из них в невозможности гидротранспортирования крупнокускового гравия. Проблему разработки залежей со значительным содержанием такого гравия можно решить используя землесосные снаряды со струйной системой подготовки горной массы в забое и гидротранспортированием (эжекторный земснаряд).

Задача разработки системы струйной подготовки и гидротранспортирования гравелистых грунтов была комплексно решена в ходе проектирования специализированного землесосного снаряда ЗНС 630-90 в 2009г. При проектировании добычной системы земснаряда ЗНС 630-90 были применены известные и апробированные методики расчета струйных насосов и разработанный автором метод расчета гидродинамических и конструктивных параметров гидравлических разрыхлителей землесосных снарядов.

Основным элементом системы добычи и гидротранспортирования эжекторного земснаряда ЗНС 630-90 является грунтозаборное устройство СГЗ 630-90, схема которого приведена на рисунке 1.

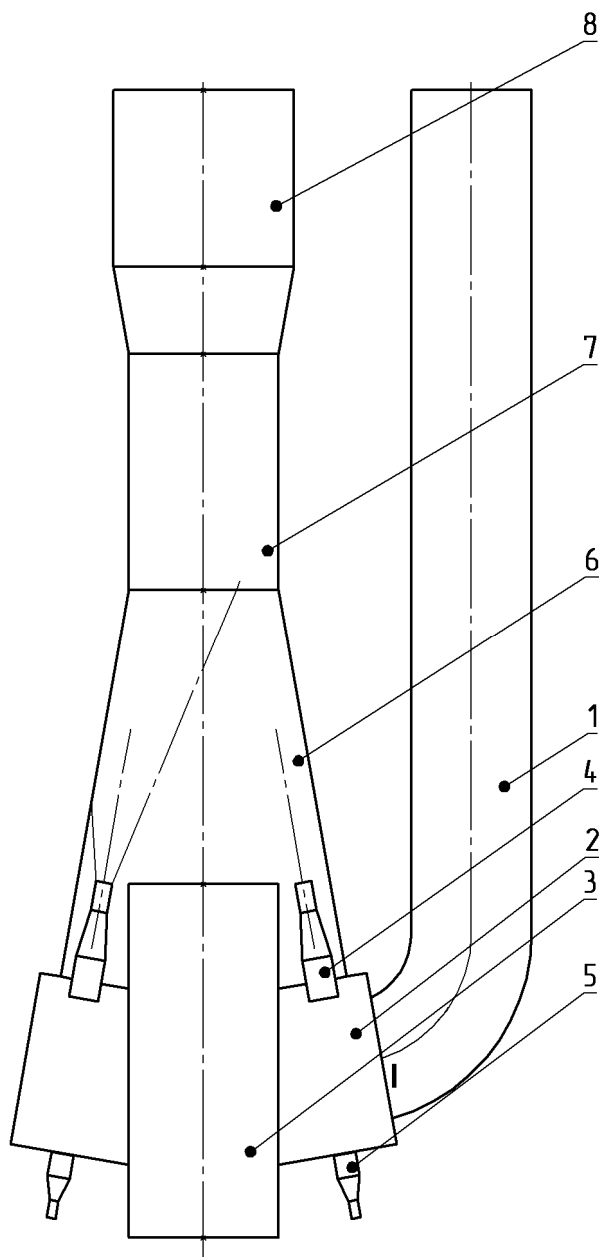


Рис. 1. Схема грунтозаборного устройства СГЗ 630-90

Грунтозаборное устройство состоит из напорного патрубка 1 предназначенного для водоснабжения напорной камеры 2, всасывающего патрубка 3, системы эжекторных 4 и размывающих 5 форсунок, смесительной камеры 6, горловины 7, напорного пульпопровода 8. Всасывающий патрубок выступает за пределы напорной камеры. Сопла эжекторных форсунок, закрепленных в напорной камере, установлены под углом к ее продольной оси и направлены попутно направлению движения пульпы во всасывающем патрубке. Сопла размывающих форсунок установлены под углом к продольной оси напорной камеры и обращены встречно направлению движения пульпы во всасывающем патрубке. Напорная камера сообщена с напорным патрубком.



СГЗ 630-90 работает следующим образом: вода по напорному трубопроводу 1 подается под давлением в напорную камеру 2. Из напорной камеры вода истекает через эжекционные форсунки 4 в смесительную камеру 6 и через размывающие форсунки 5 истекает в массив грунта, размывая и насыщая его. Под воздействием высоконапорных водяных струй, истекающих через эжекционные форсунки 4 в смесительную камеру 6, во всасывающей патрубке 3 образуется область разрежения, под воздействием которой подготовленный в забое грунт движется в смесительную камеру 6, где потоки перемешиваются. Через горловину 7 пульпа транспортируется в напорный пульпопровод 8, после чего – к месту складирования или переработки. Рекомендованная технология применения разработанного грунтозаборного устройства, при которой можно достичь его максимальной эффективности –ямочная технология добычи.



Рис. 2. Эжекторный земснаряд ЗНС 630-90

Разработанное грунтозаборное устройство СГЗ 630-90 было изготовлено и после установки на эжекторном земснаряде ЗНС 630-90 (рис. 2) прошло опытно-промышленные испытания, во время которых, в условиях речного полигона с искусственной наброской камней, контролировались такие горно-технические параметры:

$H_{\Pi}$  – давление в напорном пульпопроводе (датчик давления установлен возле компенсатора всасывающего патрубка), м.в.ст.;

$H_{\text{В}}$  – давление в напорном водопроводе (датчик давления установлен возле компенсатора напорного патрубка), м.в.ст.;

$L_{\Pi}$  – длина пульпопровода, м;

$h_n$  – геометрическая высота подъема пульпы над уровнем воды, м;

$h_3$  – геометрическая высота всасывания пульпы, м;

$n_{\text{э}}$  – количество эжекционных форсунок в работе, шт.;

$n_p$  – количество размывающих форсунок в работе, шт.;

$n_n$  – частота вращения приводного вала водяного насоса, об/мин;

$D_{\text{к}}$  – характерный диаметр добытого камня, мм;

$n_{\text{к}}$  – количество добытых камней, шт.;

$T$  – время включения добычного оборудования, мин.

В ходе испытаний выставлялись оценки общим добычным возможностям оборудования по 12-балльной шкале. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты опытно-промышленных испытаний эжекторного земснаряда ЗНС 630-90

Параметр	№ Эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	7
1	2	3	4	5	6	7	8
$H_{\Pi}$	3,5	3,5-4,5	3,5-4	6	6,2	<b>4-4,5</b>	4,5-5
$H_{\text{В}}$	90	90-92	90-92	95	100	<b>92-93</b>	105
$L_{\Pi}$	128	152	152	152	152	<b>104</b>	104
$h_n$	2	2	2	2	2	<b>2,5</b>	2,5
$h_3$	7-9	7-8	5-6	6-8	8	<b>6-8</b>	8
$n_{\text{э}}$	8	8	8	6	6	<b>6</b>	6
$n_p$	4	4	8	8	4	<b>4</b>	4
$n_n$	1520	1520-1550	1540-1550	1540	1520	<b>1500-1510</b>	1570
$D_{\text{к}}$	80	60-80	60-80	60	60-70	<b>180 (3кг)</b>	100
$n_{\text{к}}$	8-9	5-7	10	10	до 10	<b>более 10</b>	3
$T$	40	30	40	20	30	<b>40</b>	20
Оценка	8	7	9	9	9	<b>11</b>	10
Резюме наблюдений	Загрузка слабая		Загрузка средняя		Загрузка уверенная		Загрузка средняя

Параметр	№ Эксперимента						
	8	9	10	11	12	13	14
1	2	3	4	5	6	7	8
$H_{\Pi}$	4,5	2	<b>3,5-4,2</b>	2	2,2	5- 5,5	6,2
$H_{\text{В}}$	92	90-92	<b>92</b>	55	60	92	98
$L_{\Pi}$	104	128	<b>128</b>	224			
$h_n$	2,5	2,5	<b>2,3</b>	1,7			
$h_3$	4-5	7-8	<b>6-7</b>	6-7			
$n_э$	8	7	<b>8</b>	8			
$n_p$	2	4	<b>4</b>	4			
$n_H$	1520	1400	<b>1510</b>	1130	1220	1530	1600- 1610
$D_K$	60-70	Нет	<b>180 (2,6кг)</b>	Нет			
$n_K$	До10	Нет	<b>1</b>	Нет			
T	35	15	<b>40</b>	10	10	40	40
Оценка	6	0	<b>11+</b>	2	3	2	4
Резюме на- блюдений	Загрузка слабая	Загрузка сла- бая	<b>Загрузка уверенная</b>	Загрузка слабая			

Испытаниями подтверждена достаточная сходимость расчетных и экспериментальных данных, что подтверждает актуальность разработанной методики.

Эжекторный земснаряд ЗНС 630-90, изготовленный на базе земснаряда МЗ-11, в течение 2009 года, широко применялся при производстве дноуглубительных и добычных работ в акватории р. Днепр. Применение разработанной системы струйной подготовки и гидротранспортирования в указанных условиях позволили:

- сохранить производительность добычи песка на прежнем уровне;
- уменьшить расходы по статье «Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования» на 15 %;
- сократить сроки технического обслуживания и поточного ремонта оборудования на 28 %;
- получить возможность разрабатывать грунт крупностью до 200 мм;
- снизить себестоимость добычи песка на 12 %.

В результате проведенных в 2009 г. опытно-промышленных испытаний эжекторного земснаряда ЗНС 630-90, оборудованного грунтозаборным устройством СГЗ 630-90, обоснованы его достоинства и недостатки. Достоинства:

- возможность транспортировать крупнокусковой материал;
- конструктивная надежность струйного насоса по причине отсутствия вращающихся и трущихся частей;
- низкая стоимость оборудования;

- простота обслуживания и ремонта;
- наличие условий для подготовки горной массы к дальнейшей переработке.

Недостатки:

- низкий напор, создаваемый струйным насосом;
- дальность гидротранспортирования значительно ниже, чем при работе грунтовых насосов;
- ограниченная высота подъема пульпы.



Рис. 3. Эжекторный земснаряд ЗНС 630-90 для климатических условий Европы

В целом эжекторный земснаряд ЗНС 630-90 успешно прошел опытно-промышленные испытания, в результате которых определены его эксплуатационные характеристики:

- тип грунтов – несвязный песок, гравий крупностью до 200 мм;
- глубина разработки – до 8 м;
- дальность транспортирования песчано-гравийной пульпы по горизонтали – до 250 м;
- рабочий насос – Д 630-90;
- привод насоса – дизель ЯМЗ238 (250 кВт);
- производительность по пульпе – 1100 м<sup>3</sup>/ч;
- производительность по грунту – 90 т/ч.

Полученные результаты позволили рекомендовать эжекторный земснаряд ЗНС 630-90 к производству и уже в 2010–2011 гг. были изготовлены две такие машины. В настоящее время земснаряды ЗНС 630-90 успешно эксплуатируются при разработке речного гравия (рис. 3, Украина) и месторождения алмазов, вмещающая порода – гравий (Либерия).

**Вывод.** Опытные-промышленные испытания струйного грунтозаборного устройства СГЗ 630-90 как основного элемента землесосного снаряда ЗНС 630-90 показали практическую реализуемость, технологическую и экономическую эффективность его применения при освоении обводненных и подводных песчано-гравийных месторождений со значительным содержанием крупного гравия.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Франчук В. П.  
Надійшла до редакції 17.04.2013*

УДК 624.127+624.19

© Н.В.Зуєвська

## **КОМПЛЕКСНИЙ МОНІТОРИНГ ВИРОБКИ В УМОВАХ ЗОВНІШНІХ ДИНАМІЧНИХ ВПЛИВІВ**

Виконання гірничопрохідницьких робіт буровибуховим методом впливає на існуючі оточуючі споруди, що може погіршити їх експлуатацію. Розглянуто проблему комплексного моніторингу виробки в умовах зовнішніх впливів з метою попередження виникнення аварійних ситуацій.

Выполнение горнопроходческих работ буровзрывным методом влияет на существующие соседние сооружения, что может ухудшить их эксплуатацию. Рассмотрена проблема комплексного мониторинга выработки в условиях внешних воздействий с целью предупреждения возникновения аварийных ситуаций.

Performing underground construction works by drilling-and-blasting methods influence on close engineering structures, that impairment their exploitation. This matter is dealt with in problem of complex monitoring the tunnel underground under blasting influence.

**Вступ.** Поширення транспортної інфраструктури є одним з пріоритетних напрямів в розвитку економіки України. Тунелі потребують підвищення пропускної здатності, що вирішується шляхом проведенням нових та реконструкції існуючих сполучень. Виконання гірничопрохідницьких робіт впливає на існуючі споруди, що може погіршити їх експлуатацію. Сучасні методи прогнозування процесів деформування обробки тунелів не враховують усіх факторів, що впливають на технічний стан інженерних споруд. В нормативних документах питання впливу сусідніх споруд розглянуто недостатньо.

Проблема комплексного моніторингу виробки в умовах зовнішніх впливів з метою попередження виникнення аварійних ситуацій визначає **задачі до-**

**сліджень.** При цьому очевидно, що контроль технічного стану виробки повинен носити систематичний підхід і дозволяти здійснювати оцінку змін, що відбуваються на основі вироблених критеріїв.

На всіх етапах будівництва залізничних тунелів основною технологією руйнування масиву гірських порід є вибухова технологія. Під час будівництва та реконструкції практично всіх тунелів одним з основних завдань модернізації є збереження діючих тунелів, які потрапляють в ближню сейсмічну зону під час проведення підривних робіт при проходці нових виробок.

**Об'єктом дослідження** є комплекс робіт по спорудженню нового тунелю великого перерізу на перегоні Бескид – Скотарське, Україна. Так, під час будівництва Бескидського двоколійного тунелю з діаметром перерізу  $120 \text{ м}^2$  та протяжністю 1822 м, прохідницькі роботи планується проводити в 25-ти м від паралельно існуючого першого тунелю.

**Викладення основного матеріалу.** Будівництво нового тунелю буде здійснювалась в породах з  $f = 1.5-4.0$ , що представлені в основному піщаниками, глинистими сланцями та аргілітами, за допомогою буровибухової технології (рис. 1).



Рис. 1. Геологічний розріз: 1 – піщаники; 2 – глинисті сланці із зоною тріщинуватості; 3 – сланці; 4 – аргіліти.

Будівництво великопролітних виробок суцільним забоєм значно впливає на напружено-деформований стан порід і ефективність робіт. Тому в цьому випадку важливо вибрати оптимальну схему розкриття забою для збільшення стійкості масиву навколо виробки і швидкості проходки. Знаючи напружено-деформований стан порід, можна визначити конструкцію кріплення, величину навантаження на кріплення підземної споруди, оптимальну схему проходки, а також кількість уступів забою. Зокрема, проходку Бескидського тунелю планується здійснювати двома уступами за новоавстрійською технологією (рис. 2). Це в свою чергу дозволить поетапно проводити буровибухові роботи та зменшить сейсмічний ефект на експлуатований тунель.

Розробка технології робіт зі спорудження тунелю новоавстрійським методом виходить з наступних основних положень. Після проходки гірничої виробки порода в природному масиві поступово переходить з пружного стану в стан втрати стійкості і далі в нестійкий стан. Установка тимчасового кріплення під час проходки повинно забезпечити стійкість масиву. При цьому кріплення може працювати як жорстка опора для навколишнього масиву, або як піддатлива конструкція, що допускає деформації спільно з масивом. Новоавстрійський метод дає можливість швидкісного і економічного спорудження тунелів, оскільки

застосування піддатливого кріплення і оптимальне використання природної стійкості масиву дозволяють зменшити металоємність тимчасового кріплення і товщину постійної обробки, яку розраховують з урахуванням сприйняття гірського тиску тимчасовим піддатливим кріпленням.

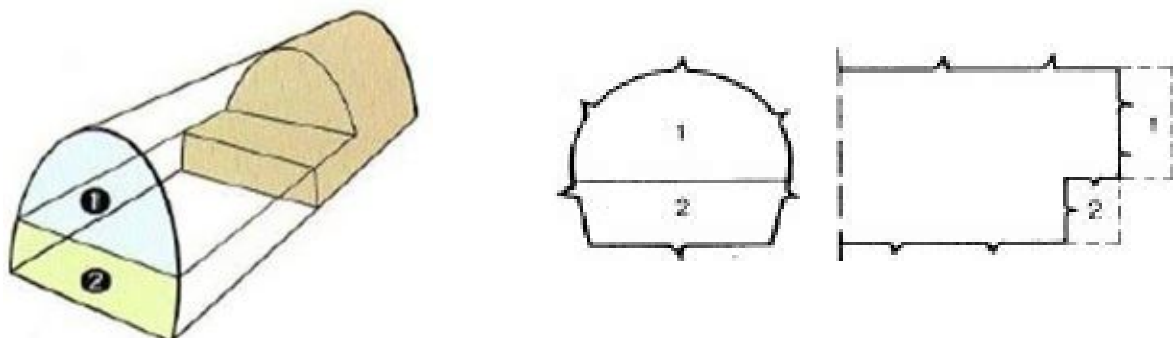


Рис. 2. Новоавстрійський спосіб з розділенням на два уступи.

Важливим елементом при цьому є здійснення моніторингу за станом навколишнього масиву і наблизьбетонного кріплення в процесі спорудження тунелю, на підставі результатів якого в проект будівництва можуть бути внесені оперативні корективи, що включають зміни конструктивних параметрів обробки та технології ведення робіт.

Питання сейсмічної безпеки інженерних споруд в більшості випадків вирішується варіацією лише маси одночасно підірваного заряду ВР, а практично всі рекомендації щодо розрахунку параметрів буровибухових робіт відносяться до дальньої сейсмічної зони. Тоді як відстань між новим і діючим тунелями часто відповідає ближній сейсмічній зоні вибуху, яка оцінюється величиною, що становить 120–150 радіусів заряду, що може перевищити відстань між сусідніми спорудами (30–50 м).

У зв'язку з цим, виникає необхідність забезпечення сейсмічної безпеки чинного тунелю. Критерієм оцінки сейсмічної дії є допустима відносна деформація гірських порід, що встановлюється з класифікації споруд по їх відповідальності і терміну експлуатації. Діючий тунель відноситься до I класу, відповідне значення складає 0,0001 [1]. Інший критерій – допустима швидкість коливань, складає 6,8 см/с [1].

Будівництво та реконструкція тунелів в таких обмежених і складних інженерних і гірничо-геологічних умовах ставлять нові вимоги до проектування та ведення буровибухових робіт.

Для виключення взаємного впливу двох виробок відстань між ними повинна складати не менше 5 діаметрів виробки [2]. Складні умови будівництва не дозволяють значно збільшити відстань між тунелями, тому виникає необхідність проведення комплексного моніторингу з метою збереження дієздатності старого тунелю в період будівництва нового. Контроль технічного стану виробки повинен дозволити здійснювати оцінку змін, що відбуваються на основі таких критеріїв як: геометрія перерізу виробки, контроль сейсмічної дії від про-

ведення вибухових робіт в новому тунелі та напружено-деформований стан обробки діючого тунелю і оточуючих порід.

Особливістю моделювання розглянутої системи є та обставина, що при прийнятій схемі проведення робіт вплив на конструкцію існуючого тунелю носить характер поетапних динамічних навантажень.

Рішення такого завдання можливе за допомогою сучасних комп'ютерних програм. Одним з таких розрахункових комплексів є обрана для даних досліджень комп'ютерна програма «Z\_SOIL.PC», розроблена фірмою ZACE Services Ltd. (Швейцарія). Цей програмний продукт дозволяє враховувати властивості оточуючих порід і конструкційних матеріалів, послідовність зведення споруд і т.д. Зокрема, в роботі [3] у результаті проведеного моделювання були визначені можливі переміщення елементів конструкцій об'єкту, що охороняється для всіх основних етапів будівництва.

У роботі [4] зазначено, що за допомогою програмного забезпечення «Z\_SOIL.PC», можна моделювати сейсмічний вплив на інженерні споруди, які охороняються. В умовах будівництва Бескидського тунелю, з метою забезпечення охорони існуючого, використання даного ПЗ було б доцільним.

Інструментом досліджень напружено-деформованого стану гірського масиву і елементів кріплення в умовах комбінованих динамічних навантажень може бути чисельне моделювання в просторовій постановці з використанням сучасної комп'ютерної програми «Z-Soil 3D»[3].

Проведення моделювання з урахуванням фактичної етапності будівництва також дозволяє проводити прогнозовану оцінку деформацій і умов роботи елементів конструкції в будь-який період часу. Це, в свою чергу, дає можливість при веденні безперервного моніторингу своєчасно реагувати на можливі несприятливі процеси і вносити зміни в прийняті конструктивно-технологічні рішення. Але математичне моделювання комплексного впливу на технічний стан виробки саме по собі не забезпечить повної безпеки об'єкта. Складні інженерно – геологічні умови проведення робіт вимагають польових досліджень безпосередньо в тунелі, що охороняється.

Моніторинг геометричних зміщень у перерізі виробки успішно здійснювався за допомогою лазерних 3D сканерів [5]. В нашому випадку, в якості технічного обладнання пропонується використати електронний тахеометр TOPCON IS-305 (рис. 3) з програмним забезпеченням Image Master for IS, який дозволяє здійснювати якісний контроль за перерізом виробки та фіксувати геометричні зміщення обробки тунелю, що експлуатується.

За допомогою модуля "Моніторинг" проводиться автоматичне вимірювання раніше зазначених (виміряних) мішеней з певною заданою періодичністю і записом даних у пам'ять приладу. Модуль "Траєкторія" дозволяє проводити автоматичний запис даних у внутрішню пам'ять приладу через вказаний період часу.

Оцінка напружено-деформованого стану конструкції, що охороняється буде здійснюється в період будівництва нового тунелю за допомогою тензометричних і струнних датчиків, з яких зніматимуться дані в різний час в залежності від інтенсивності зміни показань, а також індикаторними приладами високої точності.



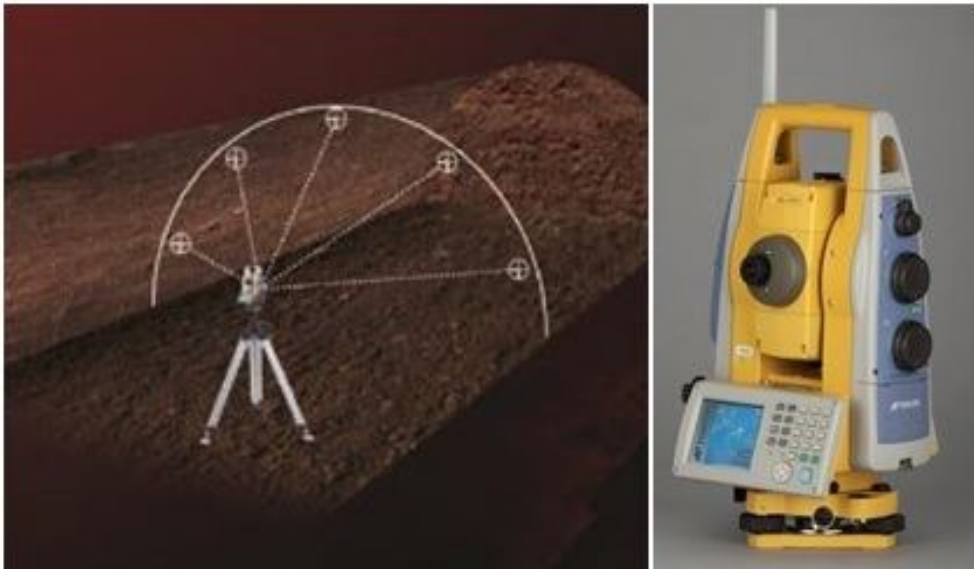


Рис. 3. Електронний тахеометр TOPCON IS-305

Щодо сейсмічного впливу на існуючий тунель, зумовленого проведенням буровибухових робіт під час будівництва нового, - будуть встановлені сейсмічні датчики, що фіксуватимуть значення поетапно, разом з просуванням вибою.

**Висновок.** Розробка методу управління перерізом виробки в умовах комбінованих динамічних навантажень потребує комплексного підходу до визначення критеріїв впливу на технічний стан споруди шляхом поєднання математичного моделювання та польових досліджень. Розробка програми моніторингу експлуатаційних характеристик є необхідною умовою успішного будівництва тунелю. Отже, на сучасному рівні, під час будівництва складних об'єктів необхідно здійснювати комплексний моніторинг, який забезпечить контроль впливів всіх технологічних факторів на саму конструкцію та навколишні об'єкти. В даній роботі було запропоновано шляхи реалізації поставленої задачі.

#### Список літератури

1. Богацкий В.Ф. Пергамент В.Х. Сейсмическая безопасность при взрывных работах. - М.: Недра, 1990.
2. Динник А.Н. Устойчивость упругих систем. – М. 1950.
3. Щекудов Е.В., Реализация современных расчетных методов при совершенствовании конструктивно- технологических решений подземных сооружений транспортного назначения. «Технологии мира», №10 2011.
4. Stéphane Commend, Seismic assessment of existing structures: application of pushover analysis with Z\_SOIL, GeoMod Ing. SA, Lausanne, 2012.
5. Roderik Lindenbergh, Norbert Pfeifer, Tahir Rabbani, Accuracy analysis of the Leica HDS3000 and feasibility of tunnel deformation monitoring, ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Назаренком В.О.  
Надійшла до редакції 12.05.2013*

## ДОБІР ОПТИМАЛЬНИХ ВР ДЛЯ ВІДДІЛЕННЯ МОНОЛІТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ГАЗОДИНАМІЧНОГО ПРИСТРОЮ

Виконано розрахунки необхідної кількості сумішевих низькошвидкісних вибухових речовин конверсійного походження та отримані залежності створення необхідного тиску від об'єму зарядної камери газодинамічного пристрою.

Ключові слова: вибухова речовина, газодинамічний пристрій, детонаційні характеристики, об'єм зарядної камери, тиск.

Выполнено расчеты необходимого количества смесевых низкоскоростных взрывчатых веществ конверсионного происхождения и получено зависимости создания необходимого давления от объема зарядной камеры газодинамического устройства.

Ключевые слова: взрывчатое вещество, газодинамическое устройство, детонационные характеристики, объем зарядной камеры, давление.

Done Calculating the number of low-speed mixed explosive conversion of origin and obtain a desired pressure depending on the volume of the gas-dynamic camera charging device.

Key words: explosive, hydrodynamic plant, knock rating, charging chamber volume, pressure.

**Вступ.** Процес відділення блочного каменю за допомогою вибухових методів має основний недолік – утворення мікротріщин у зоні наближеній до заряду, що погіршує якісні показники видобувного матеріалу. Також можливий кутовий відкол блоку, як наслідок прикладення динамічної сили вибуху в усті шпура, що призводить до непридатності подальшого використання блоку. В зв'язку з цим виникає потреба в розробці ощадливих способів руйнування, які можна було б застосувати при виконанні вибухових робіт в умовах, коли необхідно запобігти мінімально можливим пошкодженням при видобуванні монолітів декоративного каменю. В роботах [1, 2] запропонований ощадливий метод відділення блочного каменю за допомогою газодинамічного пристрою, ідея якого полягає у винесенні за межі шпура заряду і розміщенні його у спеціально сконструйованій зарядній камері, що дозволяє, по-перше, запобігти безпосередньому виходу ударної хвилі на блочний масив, а по-друге, збільшити діаметр заряду за рахунок параметрів камери, тобто застосувати низькошвидкісну вибухову речовину (ВР) при послаблених вимогах до критичного діаметра.

Одним із важливих елементів цієї технології є вибір відповідної ВР з низькими детонаційними характеристиками, але здатної детонувати при відносно малих критичних діаметрах. В роботах [3, 4] наведено компонентний та хімічний склади сумішевих ВР на основі А-ІХ-1 і А-ІХ-2, які мають швидкість детонації від 1800 до 2300 м/с і придатні для застосування у газодинамічному пристрої.

Для ефективного застосування газодинамічного пристрою необхідно виконати добір сумішевих низькошвидкісних ВР, здатний в ощадливому режимі створити динамічне навантаження, що не загрожує цілісності блочного каменю в усій масі, але, при якому виділиться необхідний об'єм розжарених газів, здатний відділити моноліт від масиву. У зв'язку з цим добір вибухових речовин, особливо в такій чутливій до цієї проблеми галузі, як видобуток блочного декоративного каменю, є актуальною задачею.

**Метою роботи є** встановлення залежностей створення визначеного тиску на стінки шпура при відділенні монолітів за допомогою газодинамічного пристрою від детонаційних характеристик різного типу ВР.

**Викладення матеріалу та результати досліджень.**

Варіант технічного рішення, що сприяє керованому розподілові тиску газів вибуху на стінки шпура в напрямку площини розриву застосовано в газодинамічній установці для блочного відділення каменю. Загальний вигляд і принцип її дії показано на рис. 1.

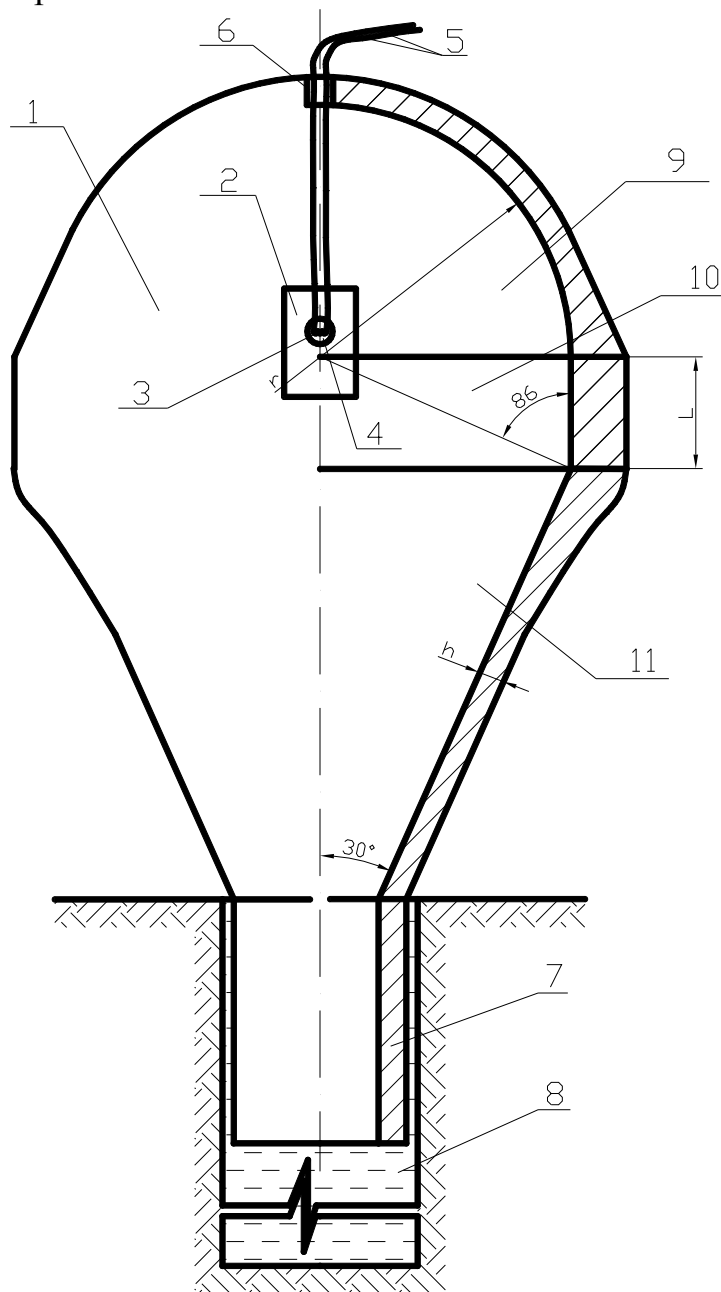


Рис. 1. Загальний вигляд установки для блочного відділення каменю

Установка включає: вибухову камеру 1, внутрішня поверхня якої складається з трьох секцій – верхньої сферичної 9, середньої циліндричної 10, нижньої конічної 11, яка звужується до низу під заданим кутом, в центрі сферичної частини якого розміщений заряд 2 із спіраллю розжарення 3, покритою екзоте-

рмічною сумішшю 4. Проводи 5 від спіралі виведено через отвір у верхній частині камери 6. Циліндричний патрубок газодинамічного пристрою 7 встановлюється в шпур 8, заповнений водою.

Робота газодинамічного пристрою полягає в тому, що заряд 2 розміщується в геометричному центрі верхнього сферичного відсіку вибухової камери 1, в заряд занурені кінці електричних проводів 6 із спіраллю розжарення 3, покритою екзотермічною сумішшю 4. За внутрішньою будовою вибухової камери 1, що складається з трьох секцій – верхньої сферичної 9, середньої циліндричної 10, нижньої конічної 11, яка звужується до низу під заданим кутом, газодинамічного пристрою після вибуху заряду 2 ударна хвиля та газовий потік при дотриманні кута повного внутрішнього відбиття для сталі спрямовується в циліндричний патрубок 7 і далі в шпур 8, заповнений водою.

Перевагами газодинамічного пристрою є в першу чергу відсутність залежності технології відбивання блочного каменю від діаметра шпура та скорочення витрат вибухової речовини.

Однак і в рамках кожної обраної для виконання робіт вибухової речовини важливим є не лише її критичний діаметр, але й загальна маса заряду в газодинамічному пристрої, яка визначатиме тиск в зарядній камері та в шпурі, необхідний для створення відповідного динамічного навантаження на бічну поверхню шпура у заданому напрямку.

Отже, оскільки завдання газодинамічного пристрою орієнтоване на створення необхідного рівня зусиль, що залежить від міцнісних характеристик руйнованого масиву, то цей показник і визначатиме масу заряду в зарядній камері, що має обмежений об'єм. Об'єм камери, з одного боку, повинен забезпечити розміщення потрібної маси заряду, а з другого боку, не набагато перевищувати об'єм заряду ВР, оскільки це призведе до зниження тиску продуктів розкладу через зменшення щільності заряджання.

Таки чином, при доборі типу ВР і величини заряду потрібно виходити з узгодження вище описаних факторів. Нижче наведено результати розрахунків, що мають дати уявлення про технологічне значення цих факторів.

Тиск газів вибуху в зарядній камері можна визначити за рівнянням Ван дер Ваальса.

$$P = \frac{RT}{V - \alpha} = \frac{P_0 \cdot V'_0 \cdot T}{(V - \alpha) \cdot 273}, \quad (1)$$

де  $V$  – об'єм зарядної камери,  $\text{дм}^3$ ;  $\alpha$  – коволюм газів вибуху, який розраховують, користуючись емпіричним співвідношенням  $\alpha = 0,001 \cdot V'_0$ ;  $V'_0$  – об'єм газів вибуху 1 кг ВР за нормальних умов,  $\text{дм}^3$ ;  $T$  – температура вибуху,  $^\circ\text{К}$ ;  $P_0$  – нормальний атмосферний тиск, рівний 0,1 МПа;

Об'єм зарядної камери можна визначити через щільність заряджання:

$$\Delta_3 = \frac{Q}{V}, \quad (2)$$

де  $Q$  – маса заряду, кг.

Якщо прийняти масу заряду за 1 кг, то  $\Delta_3 = \frac{1}{V}$  або  $V = \frac{Q}{\Delta_3}$ . Підставляючи цей вираз в формулу (1), отримаємо рівняння тиску газів у вигляді:

$$P = \frac{P_0 \cdot V'_0 \cdot T}{\left(\frac{1}{\Delta_3} - \alpha\right) \cdot 273} \quad (3)$$

Після нескладних математичних перетворень формула (3) буде мати вигляд:

$$\frac{1}{\Delta_3} = \frac{P_0 \cdot V'_0 \cdot T}{273 \cdot P} + \alpha \quad (4)$$

Підставляючи у формулу (4) щільність заряджання (2), можна визначити необхідну масу заряду для створення потрібного нам тиску в зарядній порожнині:

$$Q = \frac{273 \cdot V \cdot P}{P_0 \cdot V'_0 \cdot T + 273 \cdot \alpha \cdot P} \quad (5)$$

Дані та результати розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків необхідної кількості ВР

Вибухова речовина	Об'єм газів, $V'_0$ , л/кг	Температура вибуху, $T$ , °К	$\alpha$	Об'єм зарядної камери, $V$ , дм <sup>3</sup> .	Необхідна кількість ВР, $Q$ , г, відповідно при тиску $P$ , МПа.		
					10	15	20
Амоніт №6ЖВ	895	2600	0,895	1,4	16	24	32
				1,6	19	28	37
				1,8	21	31	41
				2,1	24	36	48
Димний порох	260	2600	0,26	1,4	56	83	111
				1,6	64	95	127
				1,8	72	107	142
				2,1	84	125	166
Заряд на основі А –ІХ – 1	600	3000	0,6	1,4	21	31	42
				1,6	24	36	48
				1,8	27	40	54
				2,1	32	47	63
Заряд на основі А –ІХ – 2	319	2425	0,319	1,4	49	73	97
				1,6	56	83	110
				1,8	63	94	124
				2,1	73	109	145

Порівняння наведених даних свідчить про те, що пропоновані вибухові суміші на основі конверсійних матеріалів здатні конкурувати з традиційними ВР за детонаційними, технологічними та економічними показниками, взятими в комплексі. Мається на увазі наступне.

Амоніт №6ЖВ технологічно задовольняє вимогам його використання безпосередньо в шпурі завдяки малому критичному діаметрові, однак при цьому має такі недоліки, як висока швидкість детонації (4500м/с), що ускладнює умову ощадливого відділення монолітів, та достатньо високу вартість. Димний порох практично задовольняє умові ощадливого руйнування, але через низьку енергетику розкладу потребує значно більших витрат ВР на певний об'єм роботи. В той же час пропоновані суміші, маючи прийнятний критичний діаметр, менший від діаметра шпура, забезпечують потрібний рівень тиску в зарядній камері при менших витратах ВР порівняно з димним порохом. Однак більш об'єктивну оцінку ефективності розглянутих ВР при їх використанні в умовах ощадливого руйнування можна дати за умови комплексної оцінки загальних витрат ВР при створенні площинної зони руйнування через показник питомої вартості одиниці енергії, генерованої кожною з порівнюваних ВР.

### Висновки

1. Використання газодинамічного пристрою при відділенні монолітного каменю дозволяє скоротити витрати ВР і застосовувати низькошвидкісні ВР з послабленими вимогами до критичного діаметра.

2. Пропоновані вибухові суміші на основі конверсійних матеріалів придатні для застосування в запропонованому газодинамічному пристрої, причому вони конкурентоспроможні з традиційними ВР за детонаційними, технологічними та економічними показниками, взятими в комплексі.

3. Однак, при доборі сумішевих низькошвидкісних ВР, тип і величину заряду ВР слід узгоджувати з об'ємом камери газодинамічного пристрою для м'якого відділення моноліту.

### Список літератури

1. *Кравець В.Г.* Розвиток комбінованого методу відділення монолітів від масиву гірських порід / В.Г. Кравець, К.К. Ткачук, А.Л. Ган, Т.В. Гребенюк, О.М. Цьохла // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2010. – Вип. 19. – С. 69 – 78.
2. Пат. 29481 Україна. МПК Е 21 С 37/00. Газоструминний пристрій для руйнування блокових масивів / В.Г. Кравець, П.З. Луговий, А.Л. Ган, Є.А. Загоруйко, З. Барановський, О.П. Толкач.; заявник і власник НТУУ «КПІ». – № u200711230; заяв. 10.10.2007; опубл. 10.01.2008, Бюл. №1.
3. *Кравець В.Г.* Вибір енергетично оптимальних рецептур вибухових сумішей на основі утилізованих вибухових речовин / В.Г. Кравець, А.Л. Ган, А. Воєводка, А.А. Желтоножко // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2008. – Вип. 16. – С. 48–53.
4. *Кравець В.Г.* Утилізовані ВР, як складові вибухових сумішей для обережного підривання / В.Г. Кравець, А.А. Желтоножко, А.Л. Ган // Вісник Криворізького технічного університету. Збірник наукових праць. – 2008. – Вип. 21. – С. 52–54.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.  
Надійшла до редакції 17.05.2013*

## ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ВСКРЫТИЯ ГИДРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА В МОНГОЛИИ

Обоснованы параметры вскрытия гидрогенных месторождений урана в Монголии и даны рекомендации по технологиям их разработки.

Обґрунтовано параметри розкриття гідрогенних родовищ урану в Монголії та надані рекомендації з технологій їх розробки.

The parameters of the opening hydrogenic uranium deposits in Mongolia and recommendations on technology for their development.

В течение ближайших 20 лет, по прогнозам МАГАТЭ, ожидается увеличение спроса на энергию до 2 раз. Традиционные энергоресурсы – нефть, уголь и газ – не смогут покрыть растущие потребности человечества в энергии, равно как и альтернативные. При этом с точки зрения все ухудшающейся экологии преимущества атомных электростанций очевидны. А для стран, не имеющих собственных запасов органического топлива, развитие атомной энергетики является единственным выходом. Уран гораздо проще транспортируется и расходы на получение электроэнергии из урана в 4–6 раз дешевле, чем из угля или газа. Сегодня уран превратился в стратегический продукт глобальной экономики, а на долю урана сейчас приходится выработка более 15 % электроэнергии в мире. Преодоление растущего глобального дефицита энергии напрямую зависит от развития атомной энергетики во всем мире [1].

Разведка месторождений урана интенсивно ведется в:

- Северной и Южной Америках: Канада – 21 месторождение, Гренландия и Мексика по 1, США – 35, Бразилия – 4, Аргентина – 2;
- Европе: Швеция, Германия, Польша и Франция по 1 месторождению, Чехия – 5, Румыния и Испания по 2, Украина – 3;
- Азии: Россия и Казахстан по 16 месторождений, Узбекистан – 15, Монголия – 3, Китай – 11, Южная Корея и Индия по 1;
- Африке: Марокко – 4 месторождения, Алжир – 3, Нигер – 12, Камерун, Танзания, Малави, Мадагаскар, ЦАР по 1, Сомали и Замбия по 2, Намибия и ЮАР по 12; Австралии – 22.

При этом интенсивная эксплуатация месторождений урана производится лишь в Канаде – 21 месторождение, США – 35, Бразилии – 4, Швеции – 1, Чехии – 5, Румынии – 2, Украине – 3, России – 16, Казахстане – 16, Узбекистане – 15, Китае – 11, Индии – 1, Нигере, Намибии и ЮАР по 12, Австралии – 22 [2].

Оценка запасов урана в разных странах постоянно изменяется из-за разведки новых месторождений и отработки старых. Кроме того, меняется оценка доступных для разработки запасов. Опубликованные данные по запасам урана весьма противоречивы. В доступных источниках можно найти иной порядок стран с наибольшими запасами диоксида урана: Австралия – США – ЮАР – Канада – Россия – Казахстан – Нигерия. Противоречие объясняется тем, что

данные по детально разведанным ресурсам урана, который можно выделить из руды по себестоимости не выше 100 \$/кг (общие запасы 3,3 млрд. кг в пересчете на  $U_3O_8$ ), тогда как запасы никак не привязаны к цене добычи.

По объему разведанных запасов урана Монголия занимает одно из лидирующих позиций в мире. Однако в силу ее политической и территориальной изолированности между Россией и Китаем, сложных климатических и географических условий, низкой освоенностью населением территории и ресурсов страны, скорость ее экономического развития имеет невысокие темпы. В силу этого при колоссальных запасах стратегических полезных ископаемых текущая ситуация пока характеризуется низким уровнем освоения и скоростью окупаемости инвестиционных средств.

По результатам последних геологических исследований, разведанные запасы урана в Монголии составляют 1,475 млн. т. В стране уделяется огромное внимание исследовательским работам по поиску урана и активно предпринимаются шаги для эксплуатации этих ресурсов. В 2009 г. был принят закон «О Ядерной энергии» и определена Государственная политика по ядерной энергии и урановой промышленности. В этом же году была создана Государственная урановая энергетическая компания «Мон-Атом», которая функционирует с целью выполнения государственных задач в урановой отрасли и ядерной энергетике. «Мон-Атом» кроме доразведки месторождений, которые были открыты ранее, ведет активную деятельность по многим перспективным направлениям [3].

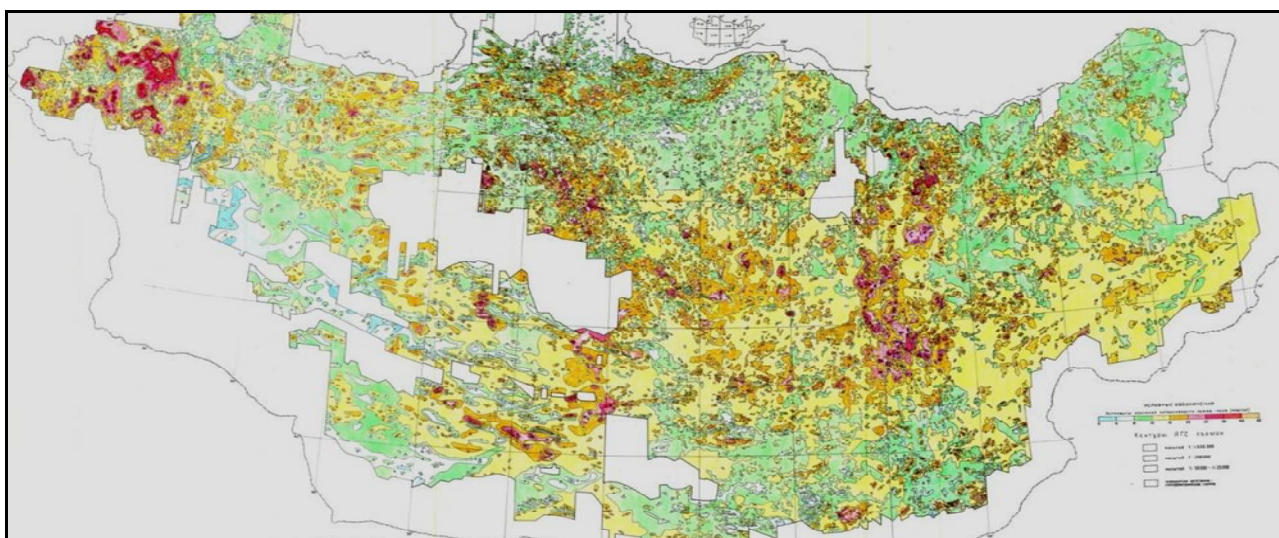


Рис. 1. Карта выявленных месторождений урана в Монголии

По количеству запасов урана на сегодняшний день Монголия входит в число 10 богатейших стран мира. Ближайшая перспектива страны – это занятие лидирующих позиций (3–5 места) среди стран-обладателей уранового сырья. Последние исследования показали, что Монголия в ближайшее время может войти в число передовых стран мира по добыче и переработке радиоактивных полезных ископаемых и редкоземельных элементов. Помимо зафиксированных



разведанных запасов урана Монголии в 1475,0 тыс. т. есть высокий потенциал разведки запасов в будущем [4].

Так, например, по проведенным последними буровым работам подтвержден прогноз о наличии значимой меридианальной зоны урановой минерализации, протяженностью не менее 1000 м с севера на юг при ширине 600–700 м в северо-восточной части Ульзитинской депрессии. Урановое оруденение месторождения «Ульзит» локализуется на трех гипсометрических уровнях 30–50 м, 90–130 м и 165–180 м и имеет литолого-фациальный и структурный контроль. Отдельные ин-рудные тела имеют мощность 0,2–7,0 м, находясь большей частью в проницаемой части осадочного разреза, и суммарную мощность по скважине до 10 м. Развитие ураноносной зоны оконтурено на восток, и частично на запад по профилям ПР-71 и ПР-40, а в районе ПР-70 зона меняет направление на северо-западное.

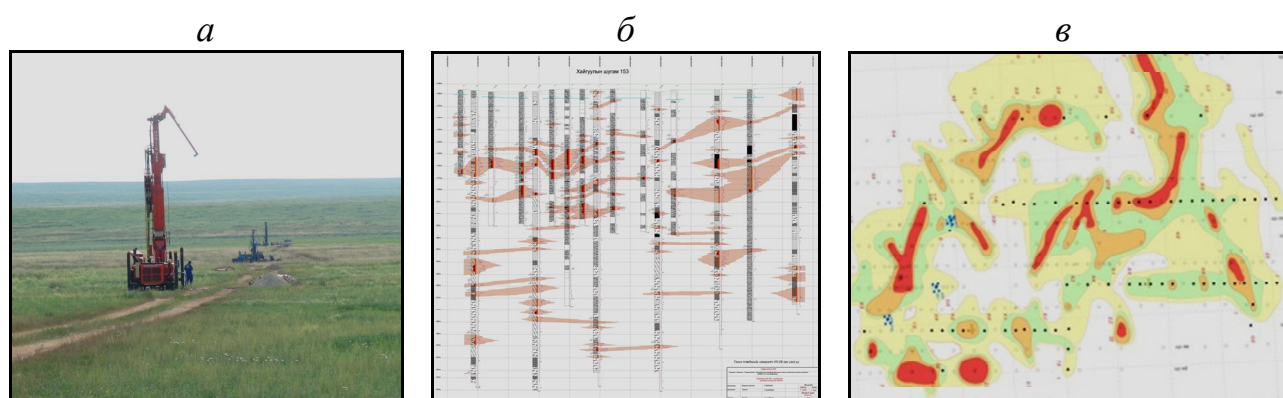


Рис. 2. Внешний вид буровых работ по профилю ПР-90 месторождения «Ульзит» (а), разрез вдоль профиля ПР-153 (б) и горизонтальная проекция рудных залежей (в) на месторождении «Хайрхан»

Комплекс геофизических и гидрогеологических исследований на месторождениях урана в Монголии при разведке рудных залежей, а также опробование рудного керна, водных проб и их лабораторные исследования позволили получить следующие результаты. На Хайрханской площади глубоким бурением на западном фланге месторождения «Хайрхан» установлены хорошие перспективы выявления новых рудных залежей на ранее неизученной глубине свыше 100 м. Полученные здесь результаты свидетельствуют о развитии гидрогенных уранорудных процессов по всей толще продуктивных на уран сероцветных отложений, мощность которых достигает 220 м.

В Чойренской депрессии на северо-восточном фланге месторождения «Хараат» подтверждено наличие новой рудной зоны, расположенной в переходной части разреза впадины от грубообломочных первичноокисленных красноцветных делювиально-пролювиальных отложений к мелко-тонкообломочным сероцветным осадкам аллювиально-озерных фаций. Рудная зона прослежена по простиранию на 2000 м и имеет ширину от 200 до 400 м. Оруденение располагается на разных уровнях, значительная часть его находится в обводненных условиях. Вновь выявленная рудная зона должна рассматриваться как резерв прироста запасов урана месторождения «Хараат». В Гурван-

Сайханской депрессии по результатам предварительной разведки рудной залежи 1 определены ее параметры, морфология, условия залегания и вещественный состав руд. По всем этим характеристикам данная залежь является полным аналогом рудных залежей месторождения «Хараат» и «Хайрхан» и имеет промышленную значимость.

В Ультзитинской депрессии в результате бурения на участке рудопроявлений «Шанд-Булак» и «Сулджур-Худук» установлены новые рудные тела с кондиционными параметрами. По данным последних лет здесь выделяется минерализованная зона протяженностью 1000 м и шириной 600 – 700 м. Оруденение располагается в трех интервалах глубин: 30 – 50 м, 90 – 130 м и 165 – 180 м. Руды локализуются, преимущественно, в проницаемых отложениях и находятся в обводненных условиях. На площади «Урт-Цав» в результате опытно-методических работ по геохимическому опробированию поверхности установлено, что выделенная здесь ранее ураноносная зона отмечается повышенными концентрациями не только урана, но и других элементов (Th, Rb, Cs, Cu, Zn, Pb, Ni, V). Данные элементы характеризуются устойчивой корреляционной связью с ураном и могут служить индикаторами гидрогенного урановорудного процесса. В дальнейшем геохимический метод наряду с другими методами можно использовать в качестве опережающего при поисках уранового оруденения в позднемезозойских впадинах Гоббийского района Монголии [5].

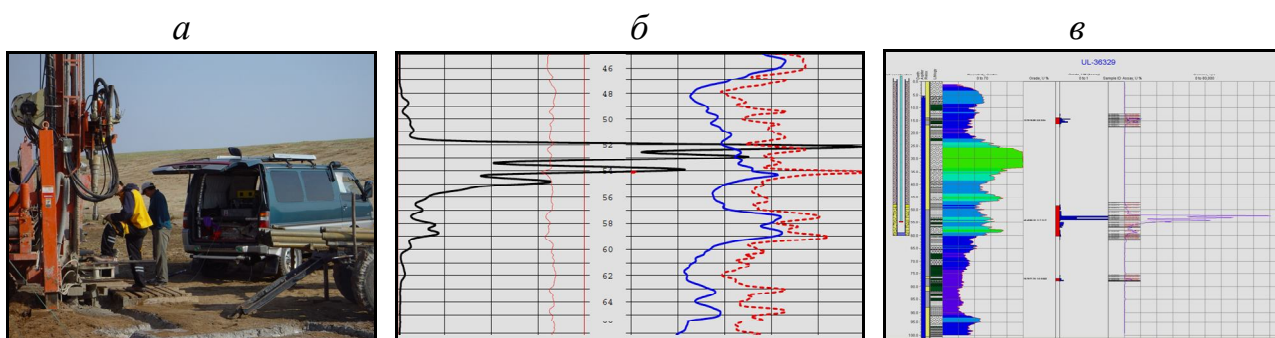


Рис. 3. Внешний вид каротажной станции, смонтированной на базе микроавтобуса (а), результаты геофизических исследований свойств рудо-породного массива методами гамма-каротажа (в) и электро-каротажа на месторождении «Ульзит»

Для всех гидрогенных месторождений Монголии – «Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан» и «Ульзит» установлены показатели изменения ураносодержащих компонентов по площади и глубине распространения. Определены вид, структура и происхождение месторождений, а также вид, состав, количество, форма, размеры, содержание урана и гидрогеологические условия рудных тел (табл.).

## Геотехнологические параметры вскрытия гидрогенных месторождений урана Монголии

Параметры месторождения	«Хараат»	«Хайрхан»	«Гурван-Сайхан»	«Ульзит»
Вид	Гидрогенное месторождение урана вида впадин древних рек			
Геологическая структура	Чойрская	Хайрханская	Гурван-Сайханская	Улзитинская
	поздняя мезозойская котловина			
Вмещающие породы	Осадочные, рыхлые породы (песок, алевроит, глина) татами, русла впадины древних рек			
Происхождение	Экзогенная минерализация, связанная с участками почвенного и поверхностного окислений			
Минеральный состав руд	Рудосодержащих – обогащенный сульфидом песок, алевроит, глина, карбонатный органик			
	Настуран, урановые черни, коффинит, отенит, уранофан, нингионит	Настуран, коффинит, отенит, уранофан	Настуран, урановые черни, коффинит, отенит	Урановые черни (Р-коффинит, нингиоит), отенит
	Вид руд: алюмосиликатный, безкарбонатный			
Параметры рудных тел (вид, форма, размеры, среднее содержание урана)	Горизонтальные слои, лентообразные тела	Горизонтальные, ленто-, чечевицо-, слоевые и гнездообразные тела, роллы	Горизонтальные, слоевые, лентообразные тела	Горизонтальные, ленто-, чечевицо-, слоеобразные тела, роллы
	длина: 500 – 3000 м, ширина: 100 – 600 м, мощность: 0,6 – 42,5 м, содержание U: 0,036%	длина: 200 – 1200 м, шириа: 50 – 600 м, мощность: 0,5 – 22,0 м, содержание U: 0,066%	длина: 1500 – 3200 м, ширина: 100 – 900 м, мощность: 0,6 – 12,9 м, содержание U: 0,04%	длина: 4000 м, ширина: 300 – 800 м, мощность: 0,5 – 14 м, содержание U: 0,036%
Гидрогеологические условия	Руды расположены в водном слое			
	Водопроницаемость: 50 – 250 м <sup>2</sup> /сут, коэф. фильтрации: 1 – 10 м/сут, минерализация: 3 – 7 г/л.	Водопроницаемость: 10 – 370 м <sup>2</sup> /сут, коэф. фильтрации: 1 – 10 м/сут, Минерализация: 4 – 6 г/л.	Водопроницаемость: 17 – 29 м <sup>2</sup> /сут, коэф. фильтрации: 4 – 7,6 м/сут, минерализация: 3 – 5 г/л.	Водопроницаемость: 0,2 – 5,3 м <sup>2</sup> /сут, коэф. фильтрации: 0,1 – 1,2 м/сут, минерализация: 0,7 – 2,3 г/л.

Параметры вскрытия месторождений показывают, что они имеют идентичную природу происхождения. Это определяет сходный вид месторождений, геологическую структуру и состав вмещающих пород. Помимо этого, в одних рамках находятся параметры рудных тел, которые имеют типичный для гидрогенных месторождений урана вид и форму (горизонтальные, ленто-, чечевице-, слоевые и гнездо-образные тела, роллы), размеры (200–4000 м) и среднее содержание урана (0,036–0,066 %). Также установлено, что все рудные залежи расположены в водонасыщенном слое, который характеризуется следующими условиями: водопроницаемость 0,2–370 м<sup>2</sup>/сут, коэффициент фильтрации 0,1–10 м/сут, минерализация 0,7–7,0 г/л. Анализ параметров вскрытия месторождений «Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан» более благоприятен, чем для «Ульзит». Это говорит о том, что технологические параметры по этим двум группам месторождений будут отличаться, и их обоснование должно выполняться отдельно.

Простое строение рудных тел с их ориентированным простиранием в плане и выдержанной мощностью, определяет выбор гексоганальной схемы разбивки залежи на добычные блоки. Ячейки закачных и откачных скважин должны располагаться вкрест простирания рудных тел с учетом направленности стока подземных вод, ориентированного вдоль рудовмещающей речной палеодолины. Расположение сети технологических скважин будет уточнено путем математического моделирования, а также выполнения подготовительных работ, проводимых перед началом добычи.

К настоящему времени на месторождении «Гурван-Сайхан» локализовано 4 рудных залежи, характеризующиеся промышленными параметрами. На трех залежах проведена предварительная разведка, по результатам которой определены запасы урана промышленной категории С, пригодные для подземного выщелачивания скважинным методом. Эти запасы составляют 2479,1 т. Их вполне достаточно для эксплуатации в течение более 10 лет с производительностью 100–200 т/год. Следует отметить, что на месторождении «Гурван-Сайхан» имеются реальные перспективы прироста запасов, на базе имеющейся, но пока не разведанной рудной залежи З, а также за счет исследования флангов рудных залежей данного месторождения.

По плану отработки на месторождении «Гурван-Сайхан» предусматривается подготовка добычного участка, на котором будет проводиться разработка урана, отсадка его на смолах с дальнейшим получением насыщенных растворов. Переработка растворов и получение готовой продукции в виде оксидокислота урана планируется на месторождении «Хайрхан», где будет работать завод по обогащению урана. Расстояние между участками месторождений «Гурван-Сайхан» и «Хайрхан» составляет 60 км. Такая схема отработки месторождений с производительностью 100 т/год и дальнейшим увеличением до 200 т/год представляется вполне рентабельной.

Месторождение «Гурван-Сайхан» по генезису, условиям локализации, вещественному составу руд, морфологии рудных залежей и другим характеристикам является полным аналогом месторождений «Хараат» и «Хайрхан». Ана-

логичной является и водная среда, которая может оказывать влияние на процесс подземного выщелачивания. Вода из водоносных горизонтов, вмещающих рудные тела, имеет сходный химический состав. Лабораторные тестовые испытания по выщелачиванию урана из руд месторождения «Гурван-Сайхан» также полностью подтверждают сходство в кинетике и пространственном характере выщелачивания урана. Наиболее эффективным для всех этих месторождений является кислотное выщелачивание с добавлением окислителя. Месторождения «Хараат», «Хайрхан» и «Ульзит» детально изучены, на них проведены натурные опытно-технологические исследования, по результатам которых определены схема и технология их отработки. Подобную схему и технологию добычи планируется использовать и на месторождении «Гурван-Сайхан».

Перед началом эксплуатации на всех месторождениях, в том числе на месторождении «Ульзит», будут проведены подготовительные работы, которые направлены на детальное изучение эксплуатационных блоков. При выполнении подготовительных работ будет тщательно изучаться характер распределения урана в рудах, динамика подземных вод, гидрогеологические характеристики вмещающих пород, технологические свойства руд и другие параметры. Этот этап работ является обязательным на месторождениях, эксплуатация которых предусматривается способом скважинного подземного выщелачивания. По результатам подготовительных работ уточняется схема расположения закачных и откачных скважин, их конструкция и глубина, рассчитываются дебиты скважин и, исходя из этого, определяется производительность фильтрационной установки по растворам. Также решается ряд других вопросов, связанных с технологическим процессом добычи.

#### Список литературы

1. Построение полного ЯТЦ: Национальная атомная компания «Казатомпром» – Режим доступа: [http://www.kazatomprom.kz/ru/pages/Postroenie\\_polnogo\\_YaTTs](http://www.kazatomprom.kz/ru/pages/Postroenie_polnogo_YaTTs)
2. Мировая карта месторождений: Урановый холдинг «АРМЗ» – Режим доступа: <http://www.armz.ru/html5/map.php?lang=rus>
3. Жанчив Б. Монгол улсын ураны үйлдвэрлэл, Цөмийн эрчим хүчний салбарын Өнөөгийн байдал, хөгжлийн хэтийн төлөв / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Уул уурхайн сэтгүүл. Улаан-Баатар: ШУТИС-ийн УУИС – 2011. – №. 1. – Х. 25 – 29.
4. Жанчив Б. Современное состояние и тенденции развития урановой отрасли Монголии [Текст] / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Ц. Лхагва // Міжн. наук.-техн. конф. м. Ялта: Арт-Пресс – 2011. – С. 122 – 125.
5. Хоменко О.Е. Исследование условий залегания, состава и свойств урановых месторождений Монголии [Текст] / О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // «Форум гірників» Міжн. наук.-практ. конф. Дніпропетровськ: РВК НГУ, – 2012. – Т. 1. – С. 120 – 125.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Рудаковим Д.В.  
Надійшла до редакції 16.04.2013*

## **ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ РАЗРАБОТКИ ПЕРЕДОВОГО ВСКРЫШНОГО УСТУПА КОМПЛЕКСОМ МАШИН НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ НА КАРЬЕРЕ «ЮГ» ВОЛЬНОГОРСКОГО ГМК**

Проведено обоснование технологической схемы разработки передового вскрышного уступа комплексом машин непрерывного действия на карьере «Юг» при разработке восточного участка Малышевского месторождения титано-циркониевых руд в условиях сокращения фронта горных работ

Проведено обґрунтування технологічної схеми розробки передового розкривного уступу комплексом машин безперервної дії на кар'єрі «Південь» при розробці східної ділянки Малышевського родовища титано-цирконієвих руд в умовах скорочення фронту гірничих робіт

The ground of flowsheet of development of front-rank stripping ledge the complex of machines of continuous action is conducted on a career «South» at development of east area of Malyshhevskogo of deposit of titano-zirconia ores in the conditions of reduction of front of mountain works

Вольногорский горно-металлургический комбинат (ВГМК) разрабатывает Малышевское месторождение титано-циркониевых руд открытым способом. Проектная производительность карьера по добыче рудных песков – 5,5 млн. м<sup>3</sup>/год. Среднегодовая производительность по вскрыше достигает 17,6 млн. м<sup>3</sup>.

Основной проблемой выполнения плановых показателей работы ВГМК на период 2013-2015 гг. является сокращение фронта добычных и вскрышных работ при прохождении балок и границ населенных пунктов. Например, из-за необходимости обхода западной окраины с. Петровка фронт горных работ на карьере №7 «Юг» уменьшился на 350 м и составил 450 м. Сокращение длины фронта работ приводит к уменьшению производственной мощности карьера и снижению производительности основного горнотранспортного оборудования. Известно, что производительность карьера по полезному ископаемому и обеспеченность вскрытыми запасами напрямую зависит от технологии и подвигания фронта горных работ на передовом вскрышном уступе. На карьере №7 «Юг» передовой вскрышной уступ обрабатывается роторным комплексом НКМЗ (ЭРШР-1600-40/10).

В связи с этим обоснование технологической схемы разработки передового вскрышного уступа на карьере №7 «Юг» при обработке Малышевского месторождения, обеспечивающей производственные показатели по добыче рудных песков является актуальной научной задачей.

В данной работе рассмотрены следующие варианты технологических схем разработки передового вскрышного уступа с применением комплекса машин непрерывного действия (НКМЗ):

Схема 1 (базовый вариант) – обработка уступа комплексом НКМЗ продольными заходками по транспортной системе разработки (существующая технологическая схема);

схема 2 – то же поперечными заходками;

схема 3 – обработка уступа диагональными заходками при веерном перемещении фронта вскрышных работ;

схема 4 – обработка уступа продольными заходками по транспортно-отвальной схеме (рис. 1 и 2).

Схема 1 является действующей в настоящее время на карьере технологической схемой разработки вскрышного уступа продольными заходками. Преимуществом такой схемы является обеспечение равномерного подвигания фронта горных работ на всех уступах. Недостатком применения схемы - является необходимость приобретения дополнительной приводной головки для соединительного конвейера, что связано с изгибом части этого конвейера, при уменьшении фронта горных работ. Схема 1 рассматривается при сравнительной оценке как базовый вариант обработки передового уступа.

Схемы 2-4, как альтернативные схемы, предусматривают изменение порядка обработки уступа, изменения ширины заходки роторного экскаватора ЭРШР-1600 (схемы 2 и 3), а также переход от транспортной передачи вскрыши ленточными конвейерами в отвал на транспортно-отвальный способ (схемы 4). Такие изменения существующей схемы 1 обработки уступа требуют проверки возможности обеспечения равномерности подвигания фронтов горных на всех разрабатываемых уступах вскрыши (надрудном, среднем и передовом).

Сущность технологической схемы 2 заключается в том, что вскрышные породы от роторного экскаватора (работающему поперечными заходками) подаются на забойный ленточный конвейер через передаточный конвейер длиной 200-250 м, располагаемый перпендикулярно к забойному конвейеру, который остается на своем месте, т.е. не передвигается.

Рассматриваемая схема имеет следующие преимущества:

- уменьшается число передвижек забойного ленточного конвейера;
- возможно увеличение производительности роторного экскаватора в 1-й поперечной заходке, за счет большой ширины заходки.

Недостаток данной схемы – нарушение равномерности подвиганий всех уступов, что не обеспечит выполнение плановой производственной мощности карьера «Юг». Так при обработке 1-й поперечной заходки скорость подвигания забоя роторного экскаватора ЗРШР-1600 составит:

$$v_{эп} = \frac{Q_{эп}}{12 \cdot A \cdot H_n} = \frac{5000000}{12 \cdot 360 \cdot 22} = 53 \text{ м/мес.},$$

где  $Q_{эп}$  – номинальная годовая производительность экскаватора ЭРШР, м<sup>3</sup>;  $A$  – ширина 1-й поперечной заходки, м;  $H_n$  – средняя высота передового уступа (отм. 155,0 – 133,0).

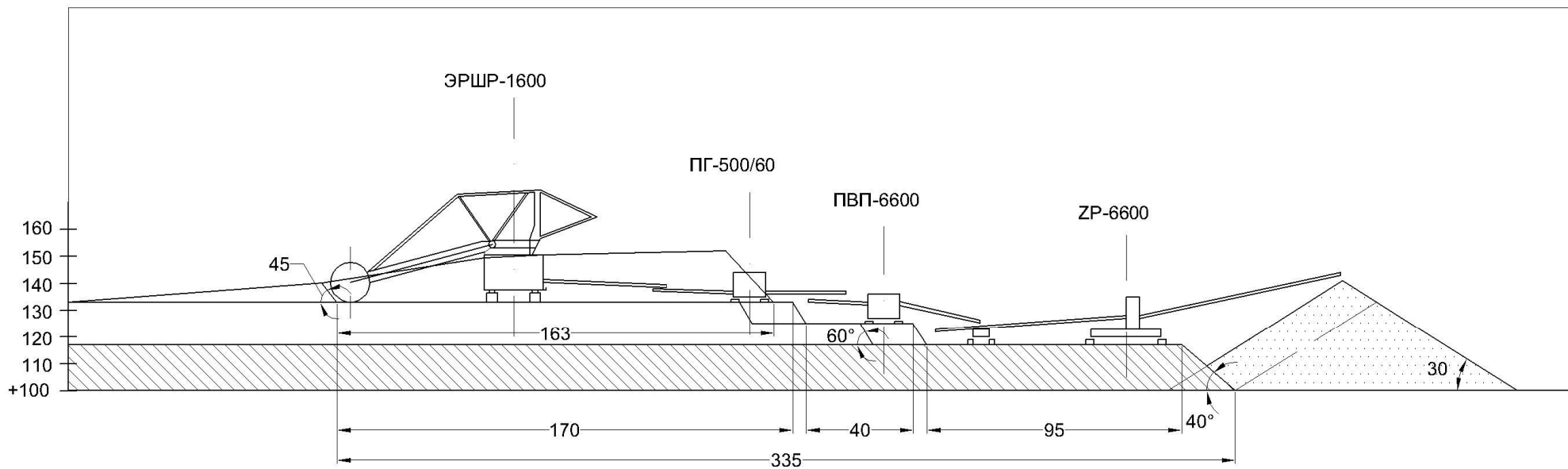


Рис. 1. Технологическая схема разработки передового уступа комплексом НКМЗ заходками по транспортно-отвальной схеме (при  $A=163$  м)



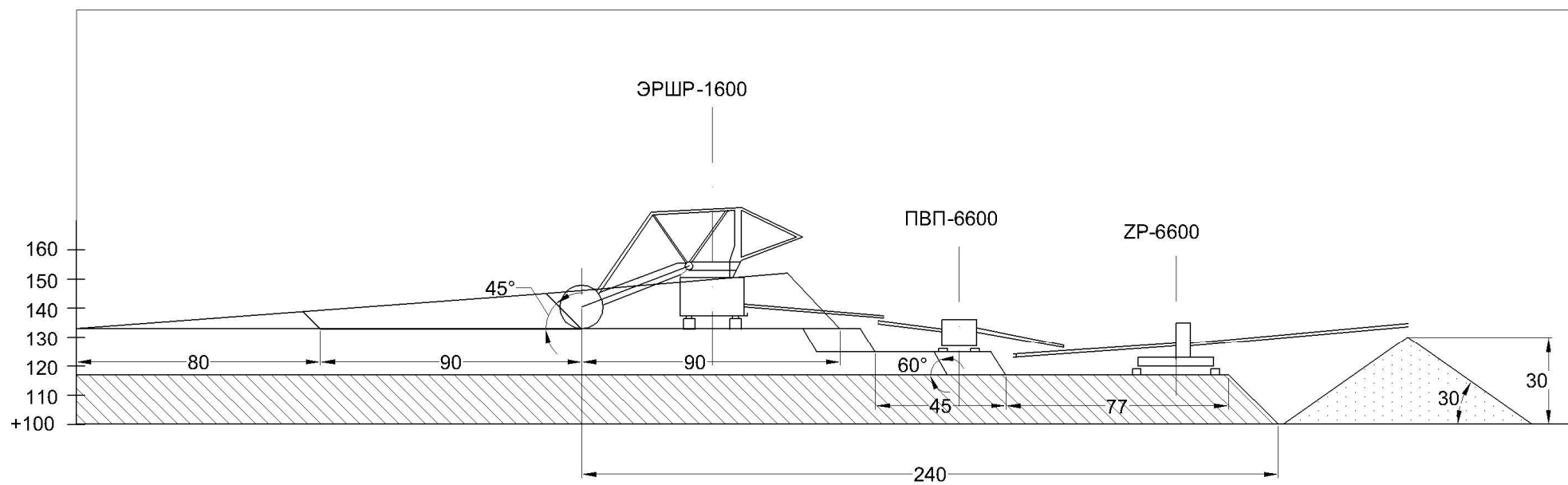


Рис. 2. Технологическая схема разработки передового уступа комплексом НКМЗ заходками по транспортно-отвальной схеме (при  $A=90$  м)

Время отработки 1-й поперечной заходки  $T_1$  составит

$$T_1 = \frac{l_3}{v_{эп}} = \frac{220}{53} = 4 \text{ мес.},$$

где  $l_3$  – средняя длина заходки, м.

Определим скорость продвижения забоя ( $v_{экс}$ ) и продолжительность отработки заходки ( $T_n$ ) комплексом «ЭКГ-а/лы» на надрудном вскрышном уступе высотой  $H_n=10$  м.

$$v_{экс} = \frac{Q_{экс}}{12 \cdot A \cdot H_n} = \frac{1800000}{12 \cdot 30 \cdot 10} = 500 \text{ м/мес.}$$

Таким образом, уже при отработке 1-й поперечной заходки нижние вскрышные и добычной уступы подойдут вплотную к расположению рабочей площадки вышележащего передового уступа и приостанавливают свое продвижение, что приведет к приостановке добычи полезного ископаемого.

Вариант разработки передового уступа на рассматриваемом участке веерными заходками (схема 3) устраняет основной недостаток предыдущей схемы, т.е. не нарушает равномерности продвижения всех уступов. Однако, существенно усложнится организация вскрышных работ на надрудном и среднем уступах, а также отвальных работ вблизи района расположения пульпо-приготовительной установки. Кроме того уменьшится производительность вскрышных комплексов «ЭКГ+а/лы», а также драглайнов, работающих на добычном уступе, поскольку будет изменяться ширина их заходов (от 0 до 30 м).

Распределение объемов вскрыши, обрабатываемой комплексом НКМЗ веерными заходками (в 3-й, 4-й и 5-й заходках) остается примерно таким же, как и при поперечных заходках. В среднем объемы вскрышных пород в каждой веерной заходке соответствуют номинально возможной месячной производительности комплекса НКМЗ.

Схема 4 предусматривает применение транспортно-отвального комплекса оборудования, исключая транспортирование породы вскрыши в отвал ленточными конвейерами. Транспортно-отвальный комплекс включает: роторный экскаватор ЭРШР-1600-40/10, перегружатели ПВП-6600 и ПГ-500/60, а также консольный отвалообразователь ZP-6600. Общая длина участка передового уступа, обрабатываемого по рассматриваемой схеме составляет 180 м. Отработать этот участок одной заходкой ( $A=163$  м) указанный комплекс может только по усложненной транспортно-отвальной схеме (рис. 1), что не рационально, поскольку потребуются дополнительно подключать драглайн в отвальной части рабочей зоны. Наиболее приемлема в данном случае вторая схема (рис. 2), при которой уступ на данном участке разрабатывается двумя заходками шириной  $A=90$  м без подсыпки пласта полезного ископаемого породами вскрыши. Высота внутреннего отвала ( $H_0$ ) отсыпаемого комплексом по этой схеме будет составлять

$$H_0 = H_n \cdot K_p + 0,25 A \cdot \text{tg} \beta_0 = 12 \cdot 1,2 + 0,25 \cdot 90 \cdot 0,7 = 30 \text{ м},$$

где  $H_n$  – средняя высота передового уступа на участке, м;  $K_p$  – коэффициент разрыхления породы в отвале;  $\beta_0$  – угол откоса отвала.

Рассматриваемая схема 4 исключает недостатки, связанные с нарушением равномерного подвигания фронтов горных работ на вскрышных уступах (схема 2), со снижением производительности комплекса НКМЗ при отработке передового уступа веерными заходками, а также усложнением организации отвальных работ (схема 3).

Основным преимуществом применения транспортно-отвального способа разработки передового уступа является значительное сокращение эксплуатационных затрат на выемку  $1 \text{ м}^3$  вскрыши и ее отсыпку в отвал, т.е. уменьшается себестоимость  $1 \text{ м}^3$  вскрыши, поскольку отсутствует транспортирование ее ленточными конвейерами.

Из теории и практики открытой разработки пологих месторождений как в нашей стране, так и за рубежом известно, что транспортно-отвальная система разработки (ТОСР) месторождения по себестоимости  $1 \text{ м}^3$  вскрыши уступает только бестранспортной, в т.ч. и усложненной (на 10-20%).

По сравнению с транспортной системой разработки с применением конвейерного транспорта себестоимости  $1 \text{ м}^3$  вскрыши при ТОСР в 2,4–2,5 раза меньше (табл. 1).

Таблица 1

Показатели систем открытой разработки угольных месторождений

Система разработки	Себестоимость $1 \text{ м}^3$ вскрыши, %	Средняя себестоимость $1 \text{ м}^3$ вскрыши, %
1. Бестранспортная (усл.)	100	100
2. Транспортно-отвальная (с конвейерными отвалообразователем)	110–120	115
3. Специальная с гидромеханизацией вскрышных работ	190–375	280
4. Транспортная	185–300	240
5. Комбинированная	250–290	270

Подтверждением эффективности транспортно-отвальной системы разработки является и зарубежный опыт работы транспортно-отвальных комплексов на буро-угольных разрезах США [1, 2]. Так, удельные затраты на разработку  $1 \text{ м}^3$  вскрыши комплексом BWE/XPS на Техасском разрезе в 2-3 раза меньше, чем комплексами с транспортированием вскрышных пород ленточными конвейерами [2].

Сравнительная экономическая оценка технологических схем отработки части вскрышного уступа на участке (отм. 150,0 – отм. 133,0) произведена по показателю – минимум эксплуатационных затрат на разработку объема вскрышных пород на этом участке ( $2,14 \text{ млн. м}^3$ ). Результаты расчетов приве-

дены в табл. 2. Из приведенных данных в таблице видно, что наиболее эффективной является схема 4 – транспортно-отвальный способ разработки участка передового вскрышного уступа. При этом установлено, что суммарные эксплуатационные затраты для данной схемы составляют 3,85 млн. грн, что в 2,5 раза меньше чем при существующей схеме отработки передового уступа и более чем 4,5 раза в случае применения технологической схемы с разработкой поперечными заходками.

Таблица 2

Показатели сравниваемых технологических схем разработки передового вскрышного уступа

Технологические схемы отработки передового уступа	Объем вскрыши	Кoeff. технологичности	Себестоимость 1 м <sup>3</sup> вскрыши, грн.	Суммарные эксплуатационные затраты, млн. грн.
1. Схема 1 – разработка продольными заходками (существующая схема)	2,14 млн. м <sup>3</sup>	0,9	<u>4,3</u> 4,78*	10,23
2. Схема 2 – разработка поперечными заходками		0,5	<u>4,3</u> 8,6*	18,40
3. Схема 3 – разработка верными заходками		0,8	<u>4,3</u> 5,4*	11,56
4. Схема 4 – транспортно-отвальная схема разработки передового уступа		0,95	<u>1,72</u> 1,8*	3,85

\*- себестоимость 1 м<sup>3</sup> вскрыши, грн. с коэффициента технологичности

Список литературы

1. Наукове обґрунтування та дослідження стратегічних напрямків підвищення ефективності відкритої розробки родовищ України: [отчет о НИР (заключительный)/ НГУ; рук. И.Л. Гуменик].– Днепропетровск, 2007.- 173 с. - № ГР 0106U001378
2. Tad S. Golosinski Mining oil sands in Alberta, Canada: past, present and future. 8<sup>th</sup> International symposium continuous surface mining. P.217-22, Sept. 24-27.2006. RWTH Aachen Germany.
3. Собко Б.Е. Прогнозная оценка производительности вскрышных комплексов и ее влияние на себестоимость разработки горных пород /Б.Е.Собко, А.М. Маевский // Збірник наукових праць НГУ.- 2010.- № 35.-том.2- С. 193-198.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.  
Надійшла до редакції 30.05.2013*

## ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ЗНАЧИМЫХ ИНФОРМАТИВНЫХ ФАКТОРОВ ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГЛЯ И ГАЗА

Применен экспертно-статистический метод для установления значимости факторов, влияющих на проявление газодинамических явлений в угольных шахтах.

Застосовано експертно-статистичний метод для встановлення значущості факторів, що впливають на прояв газодинамічних явищ у вугільних шахтах.

Expert-statistical method is used to determine the main factors that affect manifestation of gas-and-dynamic phenomena in coal mines.

С увеличением глубины разработки угольных пластов, а, следовательно, и величины горного давления, породы переходят в предельное состояние, характеризующееся высокой концентрацией напряжений и возможностью возникновения газодинамических явлений (ГДЯ). К ним относят выбросы угля, породы и газа, которые являются наиболее сложными из всех явлений и представляют собой быстро развивающееся разрушение (частичное или полное) очистного забоя, бурное выделение газа и образование потока угля или породы, взвешенных в газе. На протяжении многих лет при реализации наиболее мощных явлений исследователями фиксировались объем выброшенного полезного ископаемого, породы и газа, обследовались образованные полости, выявлялись особенности геологических условий в местах развития ГДЯ. На этой основе сформированы представления о причинах ГДЯ, установлены закономерности и тенденции.

Несмотря на наличие большого числа работ, посвященных ГДЯ, в которых рассматривались многие влияющие факторы, основные из них до сих пор не выявлены, т.е. до последнего времени не было сформировано так называемое «факторное пространство», обуславливающее проявление и развитие газодинамических явлений.

**Цель данной работы** – выделить наиболее значимые факторы, обуславливающие ГДЯ, опираясь на данные многолетних наблюдений и мнений специалистов, имеющих непосредственное отношение к данной проблеме. Для достижения цели использовались статистические методы, позволяющие установить доминирующие информативные факторы возникновения выбросоопасных ситуаций на угольных шахтах.

**Формирование факторного пространства.** Опыт разработки выбросоопасных угольных пластов и многочисленные шахтные исследования позволили сформировать основные факторы, определяющие возникновение на шахтах выбросоопасных ситуаций. К ним в первую очередь следует отнести: повышенное горное давление (напряженно-деформированное состояние); физико-механические свойства углей; глубина залегания пластов; содержание газа в угольном пласте; строение угольного пласта; скорость разработки пластов; используемая система разработки пластов; химические свойства и состав углей; наличие горно-геологических нару-

шений; состав и строение близлежащих пород; сезонная нестабильность; субъективный фактор, характеризующий прочие неучтенные причины (рис. 1).



Рис. 1. Факторы выбросоопасности в угольных шахтах

Формализация факторных взаимосвязей внезапных выбросов на угольных шахтах реализуется с помощью различных математических методов, выбор которых зависит от объема статистической информации, доступной для обработки.

Иногда формализация факторных взаимосвязей объекта исследования связана с наличием избыточного количества показателей, признаков и др. Это затрудняет анализ степени их влияния на изучаемое явление, что требует, в первую очередь, установления наиболее приоритетных факторов. Применительно к проблеме ГДЯ, которая по-прежнему не достаточно формализована, наиболее приемлемым является использование экспертно-статистических методов и факторного анализа, в частности метода главных компонент. Эти методы успешно использовались при установлении признаков такого сложного явления, как выдавливания угля в горных выработках [1]. Для оценки степени выбросоопасности аномальной зоны на угрожаемом пласте и выявление приоритетных (значимых) информативных факторов также может быть использован метод ранговой корреляции, в основу которого положена аргументированность суждения высококвалифицированных специалистов в данной отрасли. Состав влияющих факторов наиболее точно определяется следующим алгоритмом системного подхода к получению экспертных оценок [2]:

- выделение из сравнительно большой совокупности приоритетных факторов выбросоопасности;
- установление формы проведения опроса (по анкетам, анонимно);

- формирование экспертной группы, в которую входят специалисты по изучению газодинамических явлений, руководители служб, эксплуатационный персонал и д.р. (количественный состав экспертной группы составляет в пределах  $5 \leq m \leq 10$ );
- формирование правил и порядка работы экспертной группы, основанных на принципах системы экспертных оценок.

В соответствии с этим алгоритмом, применительно к проблеме ГДЯ, экспертиза проводилась по специально разработанной опросной анкете, в которую на основании теоретического анализа исследуемого процесса и оперативных сведений включено 12 информативных факторов:  $x_1$  – напряженно-деформированное состояние горного массива;  $x_2$  – физико-механические свойства углей;  $x_3$  – глубина залегания пластов;  $x_4$  – содержание газа в угольном пласте;  $x_5$  – строение угольного пласта;  $x_6$  – скорость разработки пластов;  $x_7$  – система разработки пластов;  $x_8$  – химические свойства и состав углей;  $x_9$  – горно-геологические нарушения;  $x_{10}$  – состав и строение близлежащих пород;  $x_{11}$  – сезонная нестабильность;  $x_{12}$  – субъективный фактор.

В качестве экспертов выступили ведущие специалисты горных предприятий, технологических служб угольных шахт, проектных организаций, а именно: работники соответствующих отделов шахт ГП «Угольная компания «Шахта Краснолиманская», ГП «Шахта им. А.А. Скочинского», объединение «ДТЭКПавлоградуголь», ПАО «Шахтоуправление «Покровское»; структурные подразделения компании ДТЭК: «Шахта «Днепровская», «Шахта им. Героев Космоса», а также ГП «Днепрогипрошахт», Институт геотехнической механики (ИГТМ НАН Украины). Опрос специалистов-экспертов выполнен в несколько упрощенной форме по сравнению с требованиями классического метода экспертных оценок. В каждой из предложенных анкет шесть экспертов, независимо от своих коллег, качественно оценивали тот или иной фактор выбросоопасности.

В табл. 1 приведен пример заполнения опросной анкеты для шахты «Краснолиманская». В основу экспертной оценки положена семибалльная шкала, согласно которой 12-ти принятым факторам присваивается соответствующий номер (ранг). При этом наиболее значимому фактору приписывается первый ранг, а наименее важному – седьмой. Для удобства последующей обработки полученной от экспертов информации ранги соответствующим факторам присваивались только в виде натуральных чисел (в анкете не должно содержаться нулевых или дробных рангов).

В табл. 1 приведена первоначальная (исходная) матрица рангов, полученная на основе анкет шести экспертов. Поскольку не все эксперты установили ранговое различие между несколькими смежными факторами (разным факторам присвоен один и тот же ранг), оказалось, что число рангов  $N$  не равно числу ранжируемых объектов (факторов)  $n$ . В таких случаях объектам приписывают так называемые стандартизированные ранги. Так, меньшему значению начисляется меньший ранг, а наибольшему значению начисляется ранг, соответствующий количеству ранжируемых значений ( $n$ ). В случае, если несколько значений равны, им начисляется ранг, представляющий собой среднее значение из тех рангов, которые они получили бы, если бы не были равны. В соответствии с

этим исходная матрица была преобразована таким образом (табл.2), чтобы в  $j$ -ой строке преобразованной матрицы выполнялось условие [3]:

$$S_{N_j} = \sum_{i=1}^n x_i = \frac{n(n-1)}{2},$$

где  $S_{N_j}$  – сумма рангов, полученная в результате ранжирования принятых факторов в  $j$ -ой строке преобразованной матрицы;  $x_i$  – ранг (место)  $i$ -го фактора среди остальных  $(n-1)$  факторов строки;  $n$  – общее количество ранжируемых наблюдений (значений).

Таблица 1

Первоначальная матрица рангов (мест)

Эксперт $j = 1, m$	Информативный фактор $i = 1, n$											
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$
1	2	1	3	2	3	3	6	2	3	4	4	7
2	1	3	2	3	3	4	7	2	3	4	5	7
3	2	1	3	2	2	5	4	4	4	3	3	6
4	1	2	3	2	4	5	6	3	3	5	4	5
5	1	2	4	3	3	4	5	4	4	4	5	7
6	2	2	4	2	2	5	4	4	4	3	5	5

Несовпадение реальной и расчетной сумм рангов будет свидетельствовать об ошибке, допущенной при начислении рангов или их суммировании.

Статистическая обработка информации, полученная от экспертов, должна включать в себя оценку степени согласованности мнений экспертов о влиянии перечисленных выше факторов на возникновение и развитие ГДЯ.

В качестве критерия оценки принят коэффициент конкордации Кендалла  $W$ , т.е. общий коэффициент ранговой корреляции для группы из  $m$  специалистов-экспертов, который рассчитывается как [4]:

$$W = \frac{12}{m^2(n^3 - n)} \cdot \sum_{i=1}^n S_i^2,$$

где  $S_i$  – отклонение суммы рангов  $i$ -го объекта, рассчитываемое по формуле

$$S_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij},$$

$n$  – число оцениваемых объектов (число факторов);

$m$  – число ранговых последовательностей (число экспертов);

$a_{ij}$  – преобразованные ранги суждений группы экспертов.

Таблица 2



Преобразованная матрица рангов (мест)

Эксперт ( $j=1, m$ )	Информативный фактор $i = (1, n)$												$S_N$
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	
1	3	1	6,5	3	6,5	6,5	11	3	6,5	9,5	9,5	12	78
2	1	5,5	2,5	5,5	5,5	8,5	11,5	2,5	5,5	8,5	10	11,5	78
3	3	1	6	3	3	11	9	9	9	6	6	12	78
4	1	2,5	5	2,5	7,5	10	12	5	5	10	7,5	10	78
5	1	2	7	3,5	3,5	7	10,5	7	7	7	10,5	12	78
6	2,5	2,5	7,5	2,5	2,5	11	7,5	7,5	7,5	5	11	11	78
$\sum_{j=1}^m a_{ij}$	11,5	14,5	34,5	20	28,5	54	61,5	34	40,5	46	54,5	68,5	468
Место	1	2	6	3	4	9	11	5	7	8	10	12	78
коэффициент значимости $Z_i$	0,15 3	0,14 5	0,09 5	0,13 1	0,11 0	0,04 5	0,02 7	0,09 6	0,08 0	0,06 6	0,04 4	0,00 9	—

Величина  $\sum_{i=1}^n S_i^2$  имеет максимальное значение  $S_{\max}$  в случае, когда все эксперты дают одинаковые оценки, т.е. наблюдается наилучшая согласованность мнений экспертов.

Тогда коэффициент конкордации

$$W = \frac{1}{S_{\max}} \cdot \sum_{i=1}^n S_i^2$$

может изменяться от 0 до 1. При  $W = 1$  все мнения специалистов-экспертов согласуются полностью и при  $W = 0$  соответственно расходятся [3,5].

При «связанных» рангах, когда какой-либо эксперт не может установить ранговое различие между несколькими смежными факторами и приписывает им одинаковые ранги, коэффициент конкордации определяется формулой

$$W = \frac{12 \sum_{i=1}^n S_i^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j},$$

где  $T_j = \sum_{k=1}^l (t_k^3 - t_k)$  – поправочный коэффициент для  $j$ -ой переменной.

В поправочном коэффициенте для  $j$ -го эксперта через  $t_k$  обозначено число одинаковых значений в  $k$ -й группе (связке),  $l$  – число связок (групп с одинаковыми значениями) в ранговой последовательности  $j$ -го эксперта.

В рассматриваемом случае для шахты “Краснолиманская”, в соответствии с табл. 2, коэффициент конкордации равен  $W=0,77$ . Поэтому мнения специалистов можно считать согласованными. Значимость коэффициента  $W$  проверяют по критерию Пирсона  $\chi^2$ [4]. Для этого вычисляется фактический параметр критерия Пирсона

$$\chi_{\Phi}^2 = m(n - 1)W .$$

При «связанных» рангах

$$\chi_{\Phi}^2 = \frac{12 \sum_{i=1}^n S_i^2}{m \cdot n \cdot (n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^m T_j^2} ,$$

Для данных, приведенных в табл. 1 значения  $\chi_{\Phi}^2$  составляет 30,89. Табличное значение критерия  $\chi_{\tau}^2(\alpha_x, n_x)$  составляет 19,7 где  $\alpha_x$  - уровень значимости ( $\alpha_x = 0,05$ );  $n_x$  - число степеней свободы ( $n_x = n - 1$ ) [6].

Как видим,  $\chi_{\Phi}^2 = 30,89 > \chi_{\tau}^2 = 19,7$ , т.е. подтверждается достаточно высокая степень согласованности мнений экспертов по всей совокупности рассматриваемых характеристик.

Аналогичные расчеты выполнены для анализа экспертных оценок специалистов других угольных шахт и проектных организаций. Результаты приведены в табл. 3, из которой следует, что коэффициент конкордации располагается в области положительных значений, отличных от нуля. Это свидетельствует о согласованности мнений экспертов по всем принятым объектам.

На рис. 2 представлена априорная гистограмма распределения сумм рангов экспертных оценок и аппроксимирующая ее зависимость между значимыми факторами выбороопасности угля породы и газа.

Значения относительных уровней значимости факторов  $z_i$  определяются как

$$z_i = \frac{m \cdot n - \sum_{j=1}^m a_{ij}}{0.5 \cdot m \cdot n \cdot (n - 1)} ,$$

и приведены в табл. 2.

При выделении из  $n$  факторов  $n_0$  наиболее значимых факторов определяется пороговое значение

$$z_{кр} = \frac{1}{n} .$$

Для факторов удовлетворяющих условию  $z_i > z_{кр}$  рассчитывается коэффициент значимости  $z_{i,0}$

$$z_{i,0} = \frac{m \cdot n - \sum_{j=1}^m a_{ij}}{m \cdot n \cdot n_0 - \sum_{j=1}^{n_0} a_{ij}} .$$

Для обрабатываемых данных  $z_{кр}$  составляет  $\frac{1}{12}$ , т.е. 0,083.

Таблица 3

Результаты расчета и проверки коэффициента конкордации  $W$

Шахта, организация	$W$	$\chi^2_{\Phi}$	$\chi^2_{T}$
ПСП «Шахта «Днепровская»	0,75	30,3	19,7
ГП «Шахта им. А.А. Скочинского»	0,76	29,76	19,7
ПАО «Шахтоуправление «Покровское»	0,73	30,08	19,7
ПСП «Шахта им. Героев Космоса»	0,75	29,84	19,7
ГП «Днепрогипрошахт»	0,74	30,37	19,7
ГОО «Шахта «Терновская»	0,76	29,81	19,7
ПСП «Шахта «Павлоградская»	0,76	30,06	19,7
Институт геотехнической механики им. М.С.Полякова НАН Украины	0,78	29,91	19,7
ГП «Угольная компания «Шахта Краснолиманская»	0,77	30,87	19,7
ПСП «Шахта «Западно-Донбасская»	0,74	29,51	19,7

Гистограмма распределения информативных факторов по значимости их влияния на выбросоопасность условно разбита на две совокупности (рис. 3):  $z_i > 0.083$  для факторов I совокупности (наиболее значимые),  $z_i < 0.083$  для факторов II совокупности (менее значимые).

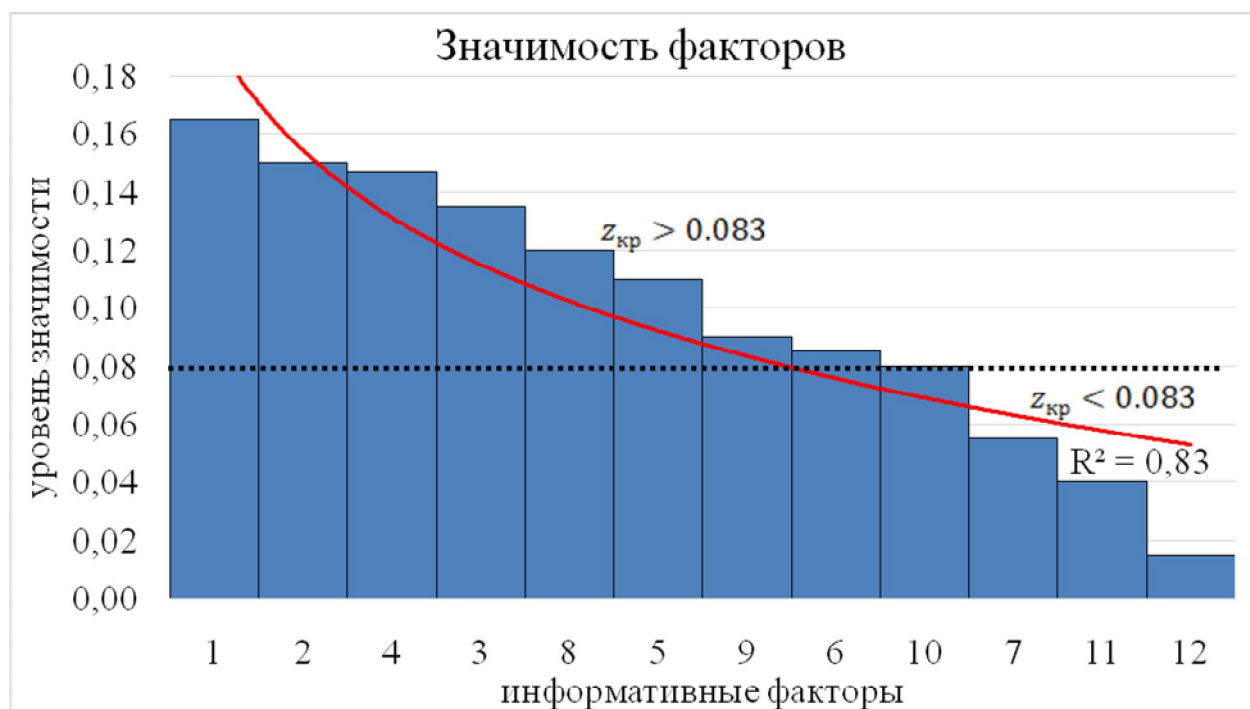


Рис. 3. Гистограмма значимости информативных факторов

Из рис. 3 видно, что напряженно-деформированное состояние горного массива, физико-механические свойства углей, содержание газа в угольном пласте, глубина залегания пластов, химические свойства и состав углей, строение угольного пласта и горно-геологические нарушения являются значимыми факторами, влияющими на возникновение внезапных выбросов угля породы и газа. К малозначимым факторам развития ГДЯ относятся: состав и строение близлежащих пород, система разработки пластов, сезонная нестабильность и субъективный фактор. Такой фактор, как скорость осуществления горных работ занимает пограничное значение и требует отдельного обсуждения.

**Выводы.** С помощью экспертно-статистического метода предопределена возможность формирования факторного пространства выбороопасности угольных пластов. Определены значимые и малозначимые факторы. Так к значимым факторам, влияющими на возникновение внезапных выбросов угля породы и газа относятся напряженно-деформированное состояние горного массива, физико-механические свойства углей, содержание газа в угольном пласте, глубина залегания пластов, химические свойства и состав углей, строение угольного пласта и горно-геологические нарушения, а к малозначимым факторам – состав и строение близлежащих пород, и система разработки пластов, сезонная нестабильность и субъективный фактор. Выявлена достаточная согласованность мнений специалистов в области возникновения и развития внезапных выбросов угля и газа

#### Список литературы

1. Тихолиз А.М., Галемский П.В., Евдокимова В.П. Признаки, характеризующие внезапные выдавливания угля// Уголь Украины, 2004, №9.-С. 33-35.
2. Китов Н.И. Групповые экспертные оценки. – М.: Знание, 1975.–180 с.
3. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М. : Статистика, 1980. – 263 с.
4. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М. :Физматгиз, 1961. – 364 с.
5. Методика применения экспертных методов оценки качества продукции. – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 120 с.
6. Плескунин В.И., Воронина Е.Д. Теоретические основы организации и анализа выборочных данных в эксперименте / Под ред. А.В. Башарина. – Л.: ЛГУ, 1979. - 320 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.  
Надійшла до редакції 25.03.2013*

## ВИМОГИ ДО ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ ДЛЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ МІСЦЕВОГО ЗНАЧЕННЯ

Сформовані основні вимоги до інформаційно-керуючих систем для електричних мереж місцевого значення.

Сформированы основные требования к информационно-управляющим системам для электрических сетей местного значения.

The formed basic requirements to the informative-based systems for the electric networks of local value.

Електрична енергія широко використовується в усіх сферах діяльності суспільства, у результаті чого вона суттєво впливає на техніко-економічні показники виробничої діяльності споживачів. Враховуючи особливості виробництва та споживання електричної енергії має місце при побудові систем керування необхідність врахування взаємного впливу споживачів на показники виробничої діяльності джерел, передавальних та розподільних мереж і навпаки вказаних об'єктів на джерела. Не завжди вказані взаємні впливи носять позитивний характер, тому системи керування електроенергетичними об'єктами окрім звичайних функцій керування передачею, але й мати можливість зменшити результати вказаних негарздів в електричних мережах. В теперішній час мережі верхніх рівнів ієрархії обладнанні такими системами керування вітчизняного та іноземного виробництва, в той же час розподільні мережі нижніх рівнів ієрархії (тобто місцеві мережі напругою 35 кВ та нижче) не мають таких сучасних систем керування. Таке становище пояснюється цілою низкою причин, але головною є досить висока вартість, але не дивлячись на це, має місце зростання кількості розробок для вказаних розподільних мереж. Такі розробки суттєво різняться між собою по обсягу функцій, якості роботи та вартості. Тому ціллю даної роботи є вироблення вимог до систем керування та пропозицій по побудові систем керування розподільними мережами.

Розподільні електричні мережі являють собою складний виробничий комплекс, який складається з певної кількості об'єктів, що розташовані на значних територіях, але зв'язані між собою схемою, єдиним технологічним процесом передачі та розподілу електричної енергії. Для аналізу функціонування розподільних мереж, як об'єкту досліджень, застосуємо метод декомпозиції, що припускає розгляд систем керування мережами, виходячи з сукупності функціональних завдань керування, їх систематизацію, оцінку організаційної основи відносно існуючих рівнів управління, а також у відповідності до перспектив розвитку систем керування електроенергетичними об'єктами країни, що намітилися в останні роки. Для подальших досліджень представляється зручним виділити сукупності функціональних груп, орієнтуючись на забезпечення відповідних цілей керування і спираючись на виконання окремих функціональних завдань. Аналіз функціональних завдань керування дозволяють запропонувати функціональні групи у взаємному зв'язку з основними цілями керування, які наведені в таблиці 1.

## Функціональні групи керування, їх завдання та мета

<b>Функціональна група і її основні завдання керування</b>	<b>Мета керування</b>
<b>Надійність:</b> виявлення і локалізація ушкоджень; відновлення електропостачання; діагностика електрообладнання; профілактика та ремонтно-відновлювальне обслуговування; реєстрація інформації про стан обладнання мережі; забезпечення достовірності та збереження інформації.	Зменшення аварійного недовідпуску електроенергії. Підвищення безперебійності електропостачання споживачів та якості електричної енергії.
<b>Навантаження:</b> оцінювання параметрів режиму споживання електроенергії; ідентифікація і контроль режиму; формування інформації для виконання корекції режиму; формування і передача команд по керуванню; планування, прогнозування та виконання режиму.	Визначення і дотримання встановленого режиму споживання активної, реактивної потужностей та енергії. Виконання договірних зобов'язань.
<b>Ефективність:</b> оптимізація режиму та втрат електричної енергії; впровадження нової техніки; оптимізація обслуговування та ремонту обладнання, скорочення чисельності персоналу.	Зменшення втрат та витрат. Підвищення техніко-економічних показників господарської діяльності.
<b>Якість:</b> управління якістю енергії; забезпечення електромагнітної сумісності в мережах; заходи з підвищення якості енергії, зменшення збитків.	Підвищення якості електропостачання споживачів.
<b>Облік:</b> збут електроенергії; матеріально-технічні ресурси; бухгалтерський облік; облік людських ресурсів.	Визначення і управління споживанням енергії. Ліквідація наднормативного та не контролюваного споживання електроенергії.

Наведені функціональні групи представляють традиційні завдання керування розподільними мережами. Перехід електроенергетики країни на ринкові умови господарювання обумовили певні зміни, що призвели до зміни (або появи) особливостей в системах керування. Так, взаємини між генеруючими компаніями і компаніями, що займаються передачею, розподілом електроенергії, засновані на корпоративному принципі взаємодії, який являє собою подальший розвиток теорії економічного саморегулювання стосовно електроенергетики [1, 2]. При реалізації цього принципу, основні положення якого регламентуються контрактом, передбачається визначати оперативні технологічні, економічні і адміністративно-господарські аспекти їх взаємодії, появу таких структур, як «Системний оператор» (СО) оптового ринку електроенергії (ОРЕ), НКРЕ, некомерційне партнерство «Адміністратор торгової мережі» тощо. При подаль-

шому розгляді цього підходу обмежимося, в основному, оперативними завданнями управління в умовах конкуренції.

Організація конкуренції побудована на методах, що добре відомі на моносонічних ринках [3, 4]. В їх основі лежить цінова конкуренція виробників за право стати постачальником для єдиного (або колективного) покупця. Створення такого агента було передбачено концепцією реформування енергетики. В теперішній час таким агентом являється некомерційне партнерство «Адміністратор торгової мережі» (НП «АТМ»). Таким чином, створення в Україні оптового ринку електроенергії (ОРЕ) та поява його регулятора в вигляді національної комісії регулювання енергетики (НКРЕ) та НП «АТМ» створили конкурентоспроможне середовище в сфері закупівлі та послідууючої продажі електричної енергії [5-8]. Схема сучасних поставок електричної енергії споживачам та можливі варіанти її подальшого розвитку показані на рис. 1 [5].

Наведені результати досліджень показали необхідність наявності «Системного оператора», як суб'єкта взаємних відносин в електроенергетиці. Ці перетворення значно вплинули на функціональні дії всіх рівнів ієрархії керування.

В попередні роки в країні, в основному, розроблялися автоматизовані системи керування для мереж високих напруг 110 кВ та вище. Це було зумовлено тим, що по таким мережам передавалися передаються значні потужності та кількості електроенергії, тому вкладення коштів в такі мережі окупаються дуже швидко, а економічні ефекти були і залишаються досить вагомими. Передбачалося, що розробки для мереж високих напруг можливо без значних затрат впровадити в розподільчі мережі. Але при цьому не були враховані відмінності розподільчих мереж від магістральних. Ці відмінності визначалися і тепер визначаються різним рівнем оснащення мереж приладами обліку та управління. Крім того, кожний рівень ієрархії управління володіє визначеною специфікою і, не дивлячись на загальність методичних підходів, врахування особливостей об'єкту керування дозволяє суттєво покращити якість вирішення проблеми диспетчеризації. Найбільш суттєво специфіка проявляється в структурі вимірювальних параметрів.

Якщо для верхніх рівнів ієрархії (НЕК «Укренерго» та енергосистем) характерні виміри активних та реактивних потужностей, то для нижніх рівнів характерні виміри струму в лініях електропередачі, трансформаторах та навантаженнях споживачів. Як відомо, для завдання оцінювання стану вимірювання струму має меншу інформаційну цінність ніж вимір потужностей, оскільки в загальному випадку вони не характеризують ні направлення потоків потужностей, ні співвідношення між активними та реактивними [1, 9] складовими. В якійсь мірі гострота проблеми може бути знижена за рахунок залучення додаткової інформації, отриманої при епізодичних контрольних замірах в режимні дні найменших та найбільших навантажень.

Крім того, політичні та економічні перетворення в країні суттєво вплинули на стан розподільчих електричних мереж. Якщо стан магістральних мереж не мав суттєвих перемін в приналежності, то роздержавлення та приватизація розподільних мереж призвели до переходу в більшості випадків цих мереж в приватну власність. Це зумовило значні зміни в їх економічній та технічній діяльності.

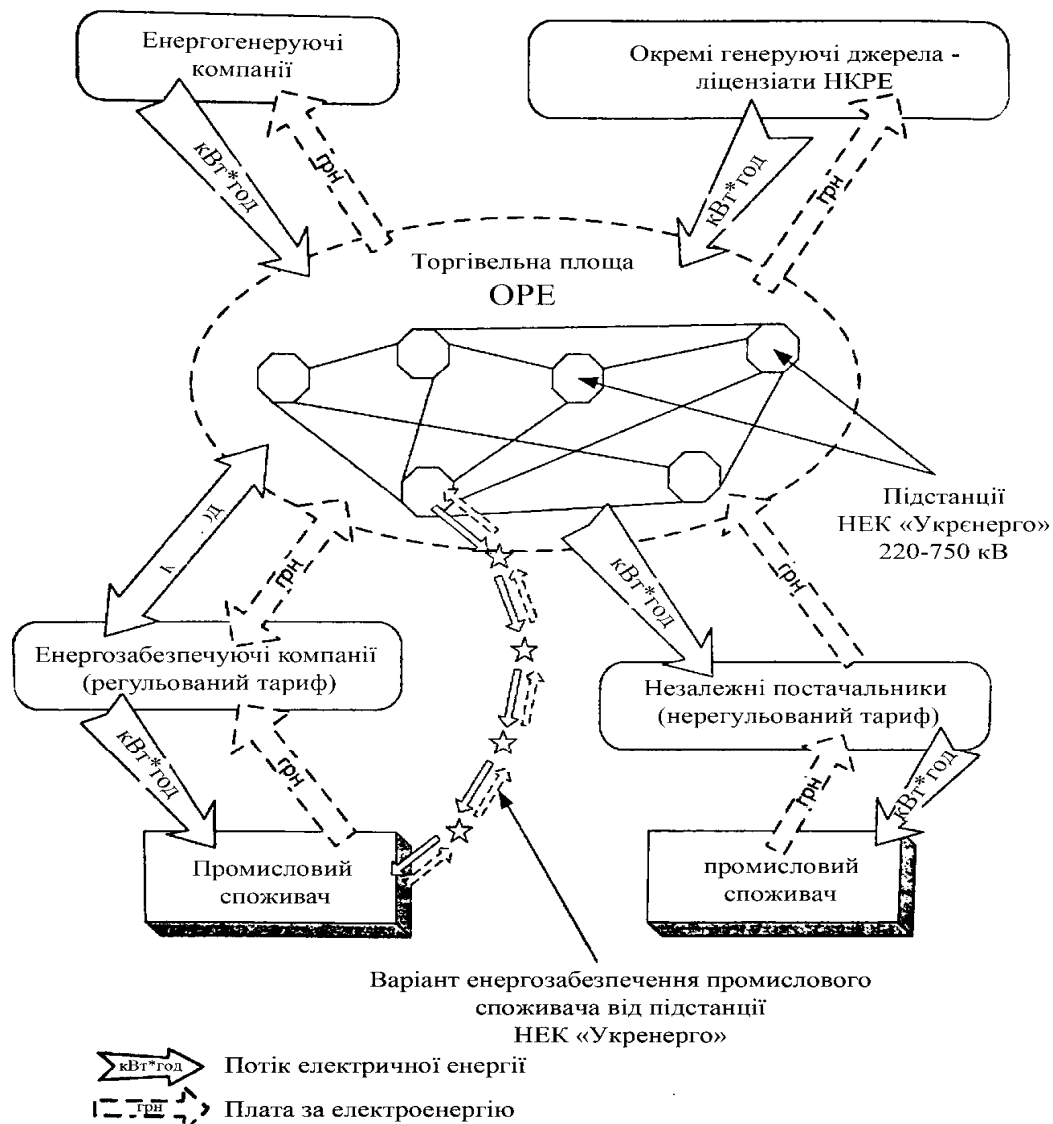


Рис. 1. Схема сучасних поставок електричної енергії споживачам

Результати досліджень показують, що для вирішення наведених та ряду інших проблем повинна бути значно покращена вся організаційно-технічна діяльність в керуванні розподільчими електричними мережами. Необхідна розвинута інформаційна підтримка по всій сукупності даних про технологічне обладнання ліній електропередачі і трансформаторних підстанцій, трасах повітряних та кабельних ЛЕП, абонентах, ретроспективної інформації про різні події тощо. Тому для вказаних об'єктів актуальним стало створення єдиного комплексу, спроможного розв'язувати задачі як диспетчерського контролю та управління мережами (в основному напругою 6(10)-35кВ), так і управління технологічними процесами на підстанціях. Це дозволяє виконати не тільки збір, відображення, зберігання та передачу інформації про стан контрольованої мережі в режимі реального часу, але й виконувати функції контролю релейного захисту та автоматики, управління та сигналізації на приєднаннях до підстанцій та створювати систему обліку електричної енергії. Таким чином, мала и має місце необхідність створення автоматизованих систем керування технологічними процесами в електричних мережах. В більшості випадків вона складається із



п'яти основних підсистем, в основу яких покладено їх єдине інформаційно - технічне забезпечення, що використовує єдине прикладне спеціалізоване програмне забезпечення (системи баз даних, комплекс графічного відображення, блоки розрахункових модулів тощо) та спеціально розроблені уніфіковані технічні засоби. Такі системи, як правило, включають підсистеми – функції:

- диспетчерського керування;
- автоматизації роботи та оперативного керування мережами;
- автоматизована система обліку електроенергії, але в більшості випадків має місце автоматизована система комерційного обліку електричної енергії (АСКОЕ);
- автоматизована система керування якістю електричної енергії тощо.

Для сумісної реалізації оперативного та автоматизованого керування в більшості випадків використовується двоконтурна адаптивна система керування імітаційною моделлю [10]. Система диспетчерського управління мережами рівня обленерго, РЕМ, системи електропостачання або їх об'єктами, вирішує завдання контролю схеми мережі та стан електрообладнання, оптимізація по напрузі, збір, обробка та оцінка плинної інформації тощо. Для такої системи створюється трьох рівневі структури:

Нижній рівень – засоби з'єднання з об'єктом представляються, за звичай, мікропроцесорними улаштуваннями збору даних в терміналах телемеханіки або інтелектуальними пристроями контрольованих об'єктів. Цей рівень забезпечує з'єднання технологічного обладнання з верхніми рівнями системи, проведення первинної обробки та фільтрації даних, а також обробки управляючих команд з верхніх рівнів.

Середній рівень – система збору та передачі інформації, яка вміщує канали телемеханіки, обладнання зв'язку, а також інтелектуальні улаштування збору даних, що виконують функції контролерів для контрольованих пунктів нижчих рівнів. Засоби збору даних забезпечують виконання функцій вводу аналогових та імпульсних сигналів, телеуправління двопозиційними об'єктами, формування архіву подій з передачею на верхній рівень та ряд інших.

Верхній рівень – оперативно-інформаційний комплекс (ОІК) подається обладнанням локальної комп'ютерної мережі та персональними комп'ютерами з достатнім ресурсом.

Структура конкретного ОІК може бути різною в залежності від функцій, рівня ієрархій, обсягу інформації, що підлягає обробці тощо. Потрібно враховувати, що програмні засоби повинні бути ліцензійними і складатися із стандартного прикладного програмного забезпечення, що реалізує основні функції SCADA (Supervisory Control and Acquisition – диспетчерське управління та збір даних). В складі автоматизованих систем диспетчерського керування на всіх рівнях ієрархії були створені та експлуатуються:

- системи автоматизованого керування нормальними, аварійними та після аварійними режимами;
- оперативно-інформаційні та керуючі комплекси, що забезпечують чергового диспетчера в реальному часі інформацією про плинний режим, керування

диспетчерським інформаційним дисплеєм, складання добової диспетчерської відомості про показники роботи в певні часи доби;

- системи оперативного керування під час добового періоду (порадник диспетчера), що забезпечує протягом доби корекцію режиму по активній та реактивній потужностях, по режиму напруги в визначених точках мережі, оперативну оцінку надійності, по підвищенню ефективності роботи мереж, окремого електрообладнання тощо;

- системи обчислювального комплексу, що забезпечує короткотривале та довготривале планування режимів;

- системи автоматизації комерційного обліку і контролю електричної енергії та потужності (АСКОЕ);

- експертні системи для інформаційної допомоги оперативному персоналу.

Виконані дослідження показують, що в теперішній час зростає відповідальність прийняття рішень оперативним персоналом, людина не завжди встигає своєчасно прийняти правильні рішення. За останній час значно частіше з'являється інформація про створення ОІК для різних рівнів керування мережами з функціями порадників диспетчера.

#### Список літератури

1. Кириленко О.В. Ієрархічний оперативно–керуючий комплекс автоматизованої системи диспетчерського керування / О.В. Кириленко, Б.С. Стогній, В.Л. Прихно [та ін.] // Праці ІЕД НАНУ. – 2008. – №20. – С. 3–4.
2. Кігель А.Г. Особливості застосування інформаційних технологій в електричних мережах / А.Г. Кігель // Науковий вісник НГУ. – 2011. – №6. – С. 121–125.
3. Паливно – енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень / [Шидловський А.К., Стогній Б.С., Кулик М.М. та ін.] – К.: Українські енциклопедичні знання, 2004. – 468 с.
4. Дикий М.О. Сучасний стан і перспективи оздоровлення енергетики України / М.О. Дикий // Енергетика и электрификация. – 2001. – №5. – С. 2–7.
5. Кириленко А.В. Энергообеспечение и энергосбережение. / А.В. Кириленко, А.С. Яндульський, В.А. Гинайло. // Энергетическая политика Украины. – 2002. – №10. – С. 72–79.
6. Кігель А.Г. Підвищення ефективності систем керування електроенергетичним обладнанням / А.Г. Кігель // Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика. Наукове видання.–Кременчук: КНУ,–2011.–№ 1/201(1). – С. 182–183.
7. Кігель А.Г. Шляхи підвищення ефективності автоматизованого керування об'єктами енергетичних компаній та систем / А.Г. Кігель // Електротехніка і енергетика. Наукові праці ДонНТУ. – Донецьк: ДонНТУ, – 2011. – №11. 178–181. – С.
8. Кігель А.Г. Повнофункціональні інформаційно – управляючі системи в електричних мережах акціонерних товариств та компаній. / А.Г. Кігель // Тези Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології на транспорті, в промисловості та освіті» ДНУЗТ ім. академіка В.А. Лазаряна. – 2011.– С. 40–41.
9. Денисюк С.П. Оцінка точності вимірювання складових електроенергії в системах з перетворювачами електроенергії. / С.П. Денисюк, В.О. Кравцов // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск. – 2008. – С.61-66.
10. Арзамасцев Д.А. АСУ и оптимизация режимов энергосистем. / Д.А. Арзамасцев, П.И. Бартоломей, А.М. Холян; под ред. проф. Д.А. Арзамасцева. – М.: Высш. шк., 1983. – 220 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 07.05.2013*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧНЫМ КОМБАЙНОМ В РЕЖИМЕ СТАБИЛИЗАЦИИ СКОРОСТИ ПОДАЧИ

В статье анализируются переходные процессы в нескорректированной системе автоматического управления добычным комбайном с бесцепной системой подачи. Осуществляется синтез эффективного закона управления скоростью подачи комбайна с позиции улучшения переходных процессов. Анализируется эффективность закона управления при имитации реальных условий работы комбайна.

В статті аналізуються перехідні процеси в нескорегованій системі автоматичного керування видобувним комбайном з безланцюговою системою подачі. Відбувається синтез ефективного закону керування швидкістю подачі комбайна з позиції покращення перехідних процесів. Аналізується ефективність закону керування у випадку імітації реальних умов роботи комбайну.

The transient processes in noncorrected automated control system by shearer with chainless haulage are analysed in the article. The development of effective automated control system by shearer from the standpoint of improving of transient processes is done. The effectiveness of automated control by shearer during imitation of real working conditions is analysed.

**Вступление.** В настоящее время отличительной особенностью горных машин является их высокая энерговооруженность. Например, добычной комбайн УКД300, который применяется для отработки маломощных пластов, имеет два электродвигателя приводов резания мощностью по 250 кВт и два электродвигателя приводов подачи мощностью по 30 кВт. Существенная мощность электродвигателей добычного комбайна с учетом сложного характера формирования нагрузки на выходных валах электроприводов предъявляет повышенные требования к протеканию переходных процессов в электроприводах подачи. Особенно это важно при работе комбайна в автоматическом режиме, когда закон управления скоростью подачи необходимо воспроизводить с приемлемой точностью. На данный момент в режиме стабилизации скорости подачи автоматическое управление комбайном реализуется по отклонению фактической скорости подачи от заданной. При этом должно соблюдаться требование по ограничению максимального значения и скорости изменения во времени вращающего момента электродвигателя привода подачи. В статье рассматривается распространенная конструктивная реализация механизма перемещения комбайнов современного поколения, когда привода подачи не имеют кинематической связи и работают независимо друг от друга.

**Последние достижения.** Исследования на основе математического моделирования переходных процессов в электроприводах подачи и резания добычных комбайнов до этого момента проводились в основном для определения рациональных параметров элементов механизма перемещения [1], а также установления закономерностей формирования динамических нагрузок в механизме перемещения с целью эффективной защиты электропривода [2]. Однако, не менее важным вопросом является улучшение переходных процессов в механизме

перемещения с помощью систем автоматического управления (САУ) в нормальном режиме работы комбайна. Исходя из этого, в статье поставлена цель:

- на основе динамической модели САУ добычным комбайном УКД300 исследовать переходные процессы в нескорректированной системе;
- осуществить синтез эффективного закона управления скоростью подачи добычного комбайна УКД300 с учетом ограничений по амплитуде и скорости изменения во времени вращающего момента электродвигателя привода подачи;
- исследовать эффективность синтезированного закона управления скоростью подачи при имитации реальных условий работы комбайна по отношению к нагрузкам, которые формируются в механизме перемещения.

**Изложение основного материала исследований.** Для синтеза эффективного закона управления скоростью подачи комбайна с целью корректирования переходных процессов в приводе подачи необходимо математическое описание и анализ динамических процессов, которые протекают в подсистеме перемещения добычного комбайна. Для этого использована динамическая модель системы «преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель» [3], структурная схема которой представлена на рис. 1.

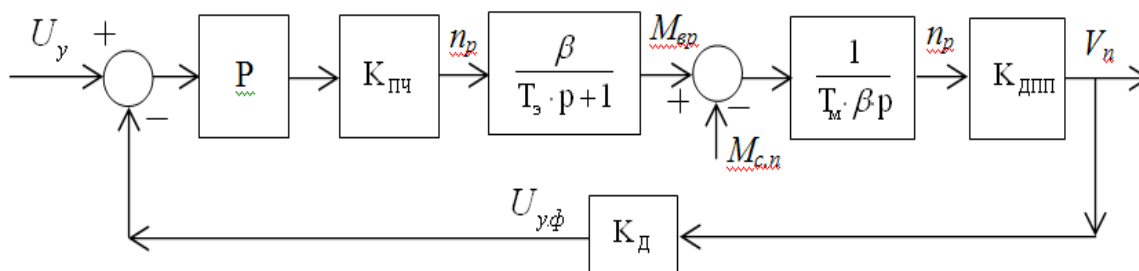


Рис. 1. Структурная схема динамической модели САУ добычным комбайном

При этом принимаются следующие допущения:

- не учитывается электромагнитная инерция электродвигателя;
- моделируется режим работы электродвигателя, когда его скольжение стремится к нулю;
- не учитываются упругие и диссипативные свойства в механической части электропривода подачи;
- не учитываются переходные процессы в преобразователе частоты питающего электродвигатель напряжения;
- при применении жесткого тягового органа механизм перемещения добычного комбайна рассматривается как передаточное звено с незначительными моментами инерции элементов движителя и жесткими механическими связями, при которых приведенный к валу электродвигателя коэффициент жесткости стремится к бесконечности.

Коэффициент  $\beta$  в апериодическом звене (рис.1) представляет собой модуль жесткости линеаризованной механической характеристики:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_{к.п}}{n_{0.п} \cdot s_{к}} = \frac{2 \cdot 545}{1000 \cdot 0,053} = 20,57, \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{мин/об}, \quad (1)$$

где  $n_{0,p}$  – синхронная частота вращения ротора (1000 об/мин);  $M_{к.п}$  – критический вращающий момент электродвигателя привода подачи (545 Н·м);  $s_k$  – критическое скольжение электродвигателя привода подачи (0,053).

Электромагнитная постоянная привода подачи:

$$T_{\varepsilon} = \frac{1}{\omega_{0,эл} \cdot s_k} = 0,06 \text{ , с,} \quad (2)$$

где  $\omega_{0,эл}$  – угловая частота напряжения питания статора (314,159 рад/с).

Электромеханическая постоянная привода подачи:

$$T_M = \frac{\omega_{0,эл} \cdot s_k \cdot (J_p + J_{к.к})}{2 \cdot p \cdot M_{к.п}} = 0,032 \text{ , с,} \quad (3)$$

где  $J_p$  – механический момент инерции ротора электродвигателя (1,12 кг·м<sup>2</sup>);  $J_{к.к}$  – механический момент инерции комбайна, приведенный к валу электродвигателя (4,17 кг·м<sup>2</sup>);  $p$  – число пар полюсов электродвигателя (3).

Для определения коэффициентов усиления элементов динамической модели САУ рассмотрим работу комбайна при максимальной скорости подачи  $V_{п}$ , равной 10 м/мин, которой соответствует управляющий сигнал  $U_y$ , равный 100%. Преобразователь частоты ПЧ в динамической модели САУ (рис.1) представлен усилительным звеном с коэффициентом усиления:

$$K_{ПЧ} = \frac{n_p}{U_y} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ , об/(мин·%),} \quad (4)$$

Двигатель подсистемы подачи ДПП в динамической модели САУ (рис.1) представлен усилительным звеном с коэффициентом усиления:

$$K_{ДПП} = \frac{V_n}{n_p} = \frac{10}{1000} = 0,01 \text{ , м/об.} \quad (5)$$

Датчик скорости подачи в динамической модели САУ (рис.1) представлен усилительным звеном с коэффициентом усиления:

$$K_D = \frac{U_y}{V_n} = \frac{100}{10} = 10 \text{ , (%·мин)/м. ,} \quad (6)$$

На рис. 2 показаны результаты моделирования – переходные процессы в нескорректированной САУ (коэффициент усиления регулятора Р на рис.1 равен единице) добычным комбайном УКД300 при отсутствии возмущающего воздействия (момент сопротивления  $M_{с.п}$  на валу электродвигателя привода подачи равен нулю).

Даже при отсутствии нагрузки на валу электродвигателя привода подачи, что является условным из-за веса комбайна и наличия сил трения при перемещении, наблюдаются негативные переходные процессы в САУ комбайном. А именно, в изменении скорости подачи присутствует перерегулирование более 30 % (рис. 2,а), а вращающий момент электродвигателя привода подачи превышает свое критическое значение 545 Н·м более чем в 10 раз (рис. 2, б). Поэтому с целью соблюдения требования по ограничению динамики вращающего момента электродвигателя привода подачи в динамическую модель САУ добычным комбайном УКД300 введены дополнительные блоки. Для ограничения максимального значения момента до 545 Н·м добавлен блок «Saturation\_M»

(рис. 3), а для ограничения скорости изменения во времени момента до 100 Н·м/с в регулятор введен блок «Limiter\_V» (рис.3).

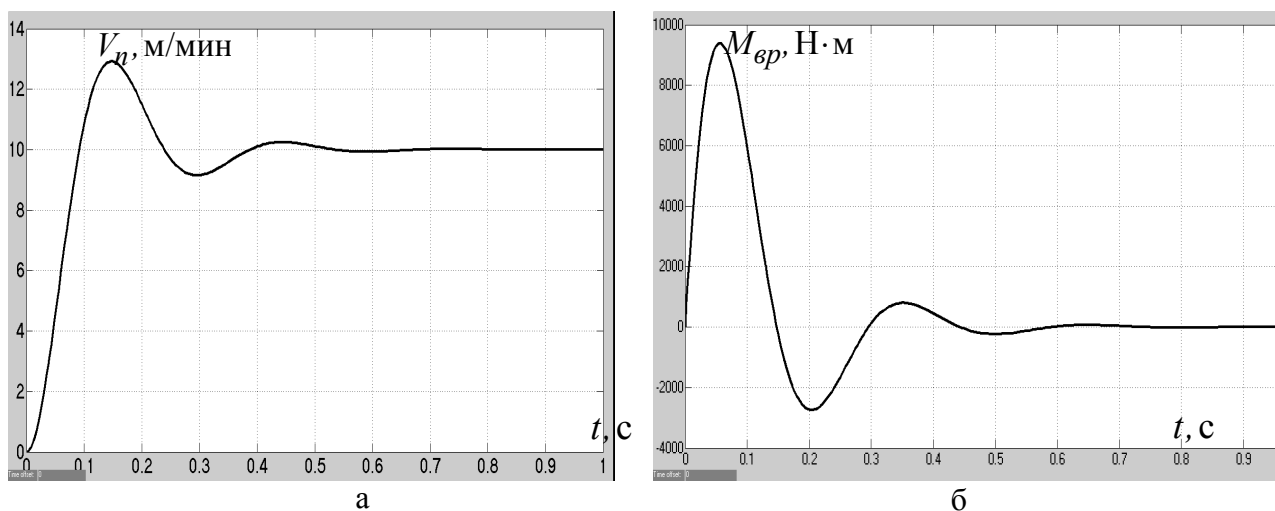


Рис. 2. Изменение во времени: а – скорости подачи добычного комбайна; б – вращающего момента электродвигателя привода подачи

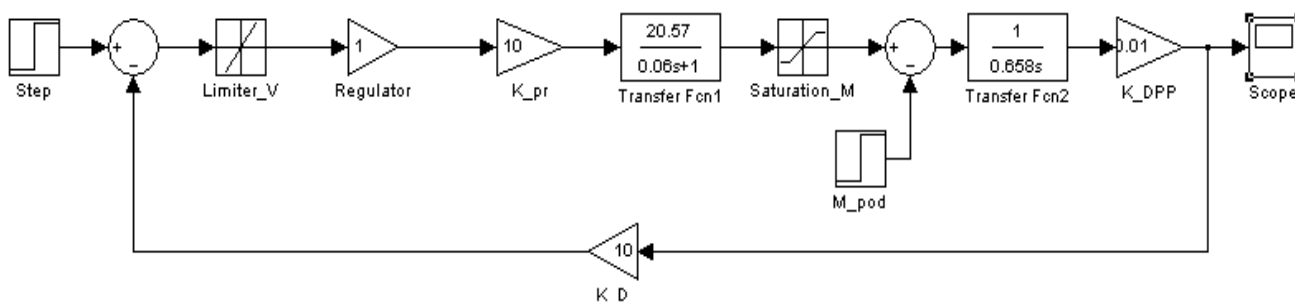


Рис. 3. Структурная схема динамической модели нескорректированной САУ добычным комбайном с ограничениями по вращающему моменту и скорости подачи

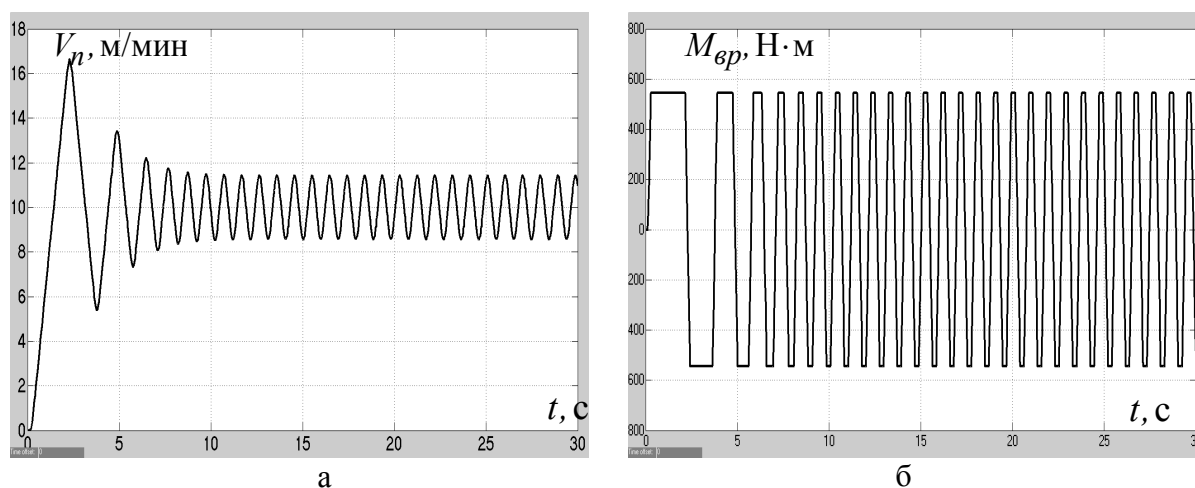


Рис. 4. Изменение во времени: а – скорости подачи добычного комбайна; б – вращающего момента электродвигателя привода подачи

Результаты моделирования представлены на рис. 4. Из рис. 4, б видно, что требования по ограничению максимального значения и скорости изменения во

времени вращающего момента электродвигателя привода подачи соблюдены, однако при этом наблюдаются автоколебания как в динамике скорости подачи, так и в динамике вращающего момента. Поэтому с целью улучшения переходных процессов в САУ комбайном в регуляторе реализован ПИД-закон управления с ограничением скорости изменения во времени управляющего сигнала. Для определения рациональных параметров ПИД-закона управления, при которых обеспечивается переходный процесс на выходе САУ с приемлемыми показателями качества, использовано приложение математического пакета «Matlab» «Nonlinear control design».

Согласно результатам поиска рациональных параметров регулятора в приложении «Nonlinear control design», коэффициент усиления пропорционального звена  $K_p$  равен 0,41 (рис.5), коэффициент усиления интегрирующего звена  $K_i$  равен 0,0089, коэффициент усиления дифференцирующего звена  $K_d$  равен 0,78, а постоянная времени дифференцирующего звена  $T_d$  составляет 0,021 с. Ниже приведена структурная схема динамической модели скорректированной САУ комбайном (рис.5) с найденными параметрами регулятора, которая реализована в приложении математического пакета «Matlab» «Simulink».

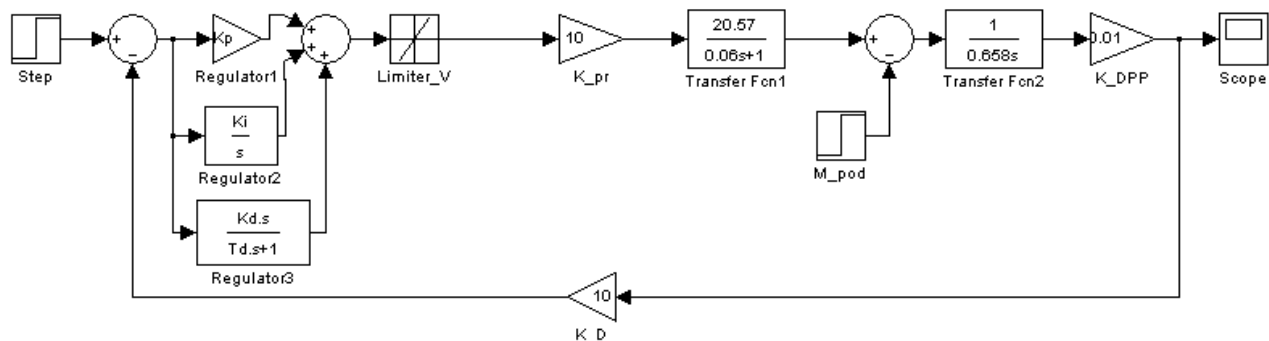


Рис. 5. Структурная схема динамической модели скорректированной САУ добычным комбайном УКД300 с ограничением по ускорению подачи

Результаты моделирования представлены на рис. 6. Из рис. 6, а видно, что при разгоне комбайна с 0 до 10 м/мин перерегулирование переходного процесса на выходе САУ не превышает 3 %. До максимальной скорости 10 м/мин комбайн разгоняется за 7,2 с, что соответствует паспортным данным современных комбайнов (от 5 до 10 с). При резком увеличении на 50-ой секунде моделирования момента сопротивления на валу электродвигателя привода подачи с 0 до 180 Н·м скорость подачи падает до 8 м/мин с последующим возвратом в диапазон  $\pm 5\%$  от установившегося значения скорости подачи за 5,3 с. С учетом того, что автоматическое управление комбайном ведется по возмущающему воздействию, которое изменяется во времени намного медленнее (период колебаний крепости угля вдоль забоя в десятки раз больше, чем длительность переходного процесса), этот результат отработки возмущающего воздействия является приемлемым.

Из рис. 6, б видно, что требования по ограничению максимального значения и скорости изменения во времени вращающего момента электродвигателя привода подачи соблюдены даже при отсутствии блока «Saturation\_M» в динамической модели САУ комбайном (рис. 5).

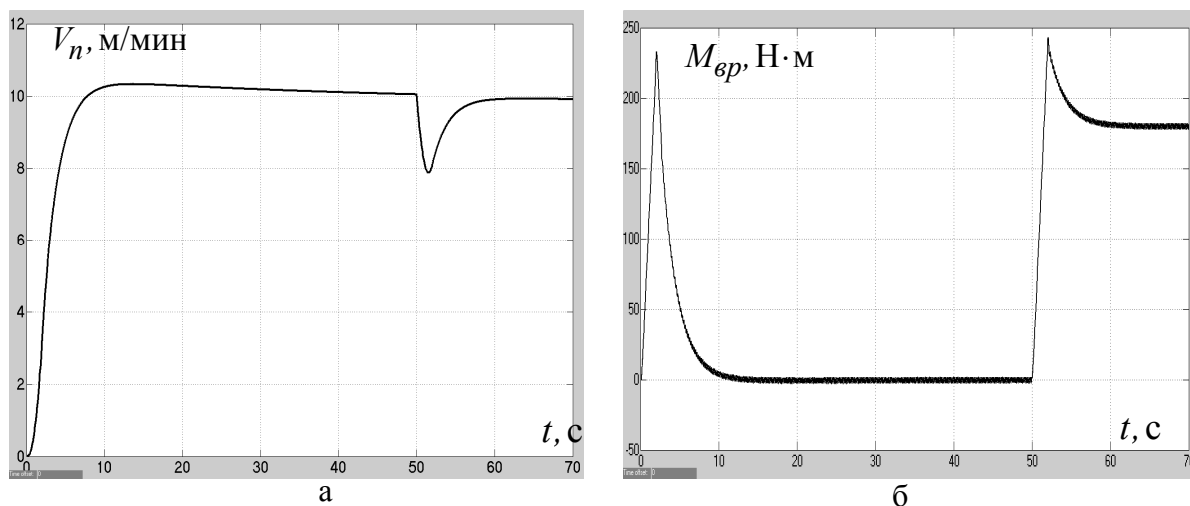


Рис. 6. Изменение во времени: а – скорости подачи добычного комбайна; б – вращающего момента электродвигателя привода подачи

С целью исследования эффективности синтезированного закона управления скоростью подачи при имитации реальных условий работы комбайна реализовано случайное изменение во времени момента сопротивления на валу электродвигателя привода подачи (рис. 7, б). Параметры функции плотности вероятности и автокорреляционной функции, которые описывают случайное изменение во времени момента сопротивления, получены в процессе статистической обработки результатов экспериментальных замеров при испытании комбайна УКД300 в реальных условиях на шахте “Павлоградская”.

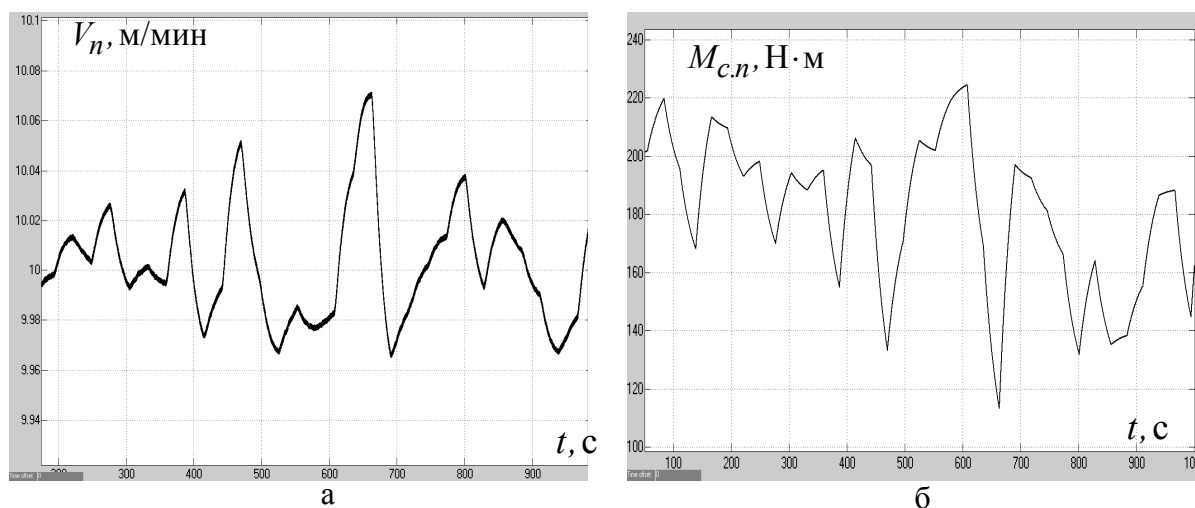


Рис. 7. Изменение во времени: а – скорости подачи добычного комбайна; б – момента сопротивления на валу электродвигателя привода подачи

На выходе динамической модели САУ комбайном в ходе имитации момента сопротивления на валу электродвигателя привода подачи получены случайные изменения во времени скорости подачи (рис.7,а). В процессе статистической обработки результатов моделирования определены математическое ожидание (10,0019 м/мин) и дисперсия (0,01437 м<sup>2</sup>/мин<sup>2</sup>) скорости подачи комбайна. Полученные значения статистических оценок существенно меньше рекомендуемых, которые обычно принимаются для САУ горными машинами, что



свидетельствует о приемлемой точности стабилизации скорости подачи комбайна при имитации реальных условий его работы.

#### Список литературы

1. Кондрахин В.П. Моделирование рабочих режимов вынесенной системы перемещения очистного комбайна, оснащенной частотно-регулируемым приводом / В.П. Кондрахин, А.А. Мельник, В.В. Косарев, Н.И. Стадник, А.В. Мезников // Наукові праці ДонНТУ. — 2009. — Випуск 16(142). — С. 141—148.
2. Дубинин С.В. Исследование переходных процессов в двухприводной автоматизированной вынесенной системе подачи очистного комбайна при аварийном заклинивании тяговой цепи / С.В. Дубинин // Наукові праці ДонНТУ. - 2012. - Випуск 23(196). - С. 86-91.
3. Ключев В.И. Теория электропривода / Ключев В.И. - М.: Энергоатомиздат, 1998. - 704 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.  
Надійшла до редакції 08.05.2013*

УДК 622.6-52

© В.О. Кондратець, А.М. Мацуй

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ ТИСКУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ОТОТОВЖЕННЯ РОЗРІДЖЕННЯ ПУЛЬПИ ПРИ ПОДРІБНЕННІ ПІСКІВ ДВОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА**

Представлені результати досліджень забезпечення адекватності тиску перетворювачів ототожнення розрідження пульпи при подрібненні пісків двоспірального класифікатора.

Представлены результаты исследований по обеспечению адекватности давления преобразователей отождествления разрежения пульпы при измельчении песков двуспирального классификатора.

Presented results of researches of providing of adequacy of pressure of transformers of equation of rarefaction of poulpi at growing shallow of sands of dvospiralnogo classifier.

**Вступ.** В Україні значна частка залізних руд підлягає збагаченню. Для подрібнення міцних залізних руд в Україні отримали розповсюдження технологічні схеми, де вихідна руда здрібнюється стержневим млином у відкритому циклі, а кульовий млин працює у замкнутому циклі з двоспіральним класифікатором, з першої спіралі якого надходить мокре вихідне живлення. Продукт другої спіралі створює циркулююче навантаження. За таких умов кульовий млин, який несе основне навантаження, працює без підтримання необхідного для конкретного типу сировини розрідження пульпи, що не забезпечує найбільш ефективне використання молільних тіл і оптимальну швидкість транспортування рідкого матеріалу вздовж технологічного агрегату. Це приводить до значних збитків в наслідок перевитрати куль, футерівки, електричної енергії та зменшення продуктивності по готовому продукту, які можливо звести до міні-

мального значення автоматичною стабілізацією співвідношення тверде/рідке у кульовому млині у конкретних технологічних ситуаціях.

Робота спрямована на виконання Державної науково-технічної програми «Ресурсозберігаючі технології нового покоління в гірничо-металургійному комплексі», затвердженої Законом України «Про основи державної політики у сфері науки і науково-технічної діяльності», за напрямком 5.3.1 «Розробка технологій видобутку та збагачення сировинних матеріалів для металургійного виробництва, в тому числі з використанням відходів виробництва». Конкретні результати наукових досліджень, що приводяться у даній публікації, отримано в процесі розробки теми «Система комп'ютерної ідентифікації співвідношення тверде/рідке при подрібненні пісків класифікатора» (0107U005470, 2007р.), яка є складовою планів наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету.

Задачу автоматичної стабілізації розрідження пульпи в основному розв'язували стосовно кульових млинів з циркулюючим навантаженням, що працюють у першій стадії подрібнення вихідної руди, однак знайдені технічні рішення для даної технологічної схеми використати не можливо. Для кульових млинів, які розглядаються, запропоновано лише один пристрій [1]. При тривалій практичній перевірці у промислових умовах було встановлено, що його канал може забиватися сторонніми включеннями, а засоби запобігання цьому відрізняються громіздкістю і значною вартістю. Тривалий час не надходило пропозицій щодо розв'язання даної технічної задачі. Авторами цієї статті встановлено, що різний характер пригнічення коливань по твердому, пульпі і воді, а також зміна у занадто широкому діапазоні часу перехідних процесів і велика тривалість перехідних процесів не дозволяють у якості керуючого діяння використати витрату води, що подається безпосередньо у кульовий млин. Показано, що розрідження пульпи найкраще визначати і стабілізувати у приймальному пристрої завиткового живильника. Найважливішою задачею тут стає знаходження співвідношення тверде/рідке пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника, де здійснюються складні її рухи. Авторами даної публікації запропоновано ефективний підхід визначення співвідношення тверде/рідке у пульпі [2], а також засоби його реалізації [3, 4]. Показано [5], що достатньо високу точність у визначенні співвідношення руда/вода можливо досягти, застосовуючи однакові перетворювачі при вимірюванні як рівня, так і тиску пульпи у донній частині приймального пристрою завиткового живильника. Доведено, що в якості первинних перетворювачів рівня і тиску пульпи необхідно використати відкриті знизу гідростатичні перетворювачі, а вторинних – перетворювачі вимірювальні наднормального тиску САПФИР-22М-ДИ2120 з діапазоном 0-10кПа. Отримана математична залежність наднормального тиску у відкритому знизу гідростатичному перетворювачі від рівня (тиску) пульпи при певних значеннях його конструктивних параметрів, сталих і змінних фізичних констант й густини пульпи, однак задачі конструктивного виконання перетворювачів ототожнення розрідження пульпи і адекватності тиску у первинному і вторинному перетворювачах даного типу за конкретних технологічних умов залишились не розв'язаними.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є створення конструкції перетворювачів ототожнення розрідження пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника та забезпечення адекватності тиску у первинному і вторинному перетворювачах обраного типу у конкретних технологічних умовах.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Відкритий знизу гідростатичний (первинний) перетворювач виконано у вигляді вертикально встановленого циліндричного патрубку внутрішнім діаметром 100 мм і висотою 600 мм. Знизу він відкритий для вільного входження пульпи, а зверху закритий і наділений штуцером для з'єднання з вторинним перетворювачем. Його можливо виготовити з титану BT9 або сплаву 12X18H10T. Наднормальний тиск первинного перетворювача, встановленого нижнім відкритим торцем у певній донній відмітці приймального пристрою завиткового живильника, залежить від рівня і густини пульпи. Вплив змінної густини пульпи можливо компенсувати, використавши значення наднормального тиску додаткового ідентичного за параметрами перетворювача, піднятого по вертикалі на незначну величину. Тому система ототожнення технологічного параметра має два ідентичних канали. Первинні перетворювачі необхідно жорстко зв'язати один з одним. Негативний вплив змін температури навколишнього середовища, атмосферного тиску, доданого з рідини або розчиненого у ній повітря доцільно компенсувати періодичним видаленням з пульпи на невеликий проміжок часу первинних перетворювачів. В умовах завиткового живильника переміщення первинних перетворювачів складає близько 0,8 м, тому імпульсні (пневматичні) трубки необхідно виконати у вигляді спіралей, що стискаються або розтягуються відносно напрямних. Тензометричні перетворювачі тиску повітря в електричний сигнал САП-ФІР-22М-ДИ2120 необхідно встановлювати поза завитковим живильником на амортизаційній підкладці, що передбачає певну додаткову довжину імпульсних ліній. Якщо прийняти п'ять витків спіралі діаметром 0,16 м, то загальна довжина кожної імпульсної лінії складе 3 м. Елементи від пульпи до електричного виходу вторинного перетворювача створюють вимірювальний канал.

До складу акустичної системи (рис. 1, а) кожного вимірювального каналу входять порожнини первинного перетворювача 3, імпульсної лінії 2 та вторинного перетворювача 1. У такій системі акустична резонансна частота нижча порівняно з резонансною частотою рухомої частини вторинного перетворювача тиску. За таких умов імпульсна лінія визначає динамічні властивості акустичного каналу в цілому, до складу якого ще входить камера тиску вторинного перетворювача. При пульсаціях пульпи вторинний перетворювач їх буде надійно відтворювати. Однак у акустичному каналі (імпульсній лінії і камері вторинного перетворювача) не повинно виникати амплітудних викривлень і фазового відставання сигналів.

Імпульсна лінія є елементом з розподіленими параметрами, однак з достатньою для практики точністю можливо замість дійсних розподілених її параметрів брати еквівалентні зосереджені. До них входять акустична ємність  $C_a$ , акустична індуктивність  $L_a$ , акустичний опір  $R_a$ , частота вільних коливань акустичного каналу  $\omega_0$  і степінь заспокоєння  $h$ . Аналіз цих залежностей показує, що

акустичні параметри імпульсної лінії визначаються як фізичними, так і конструктивними параметрами. Серед фізичних параметрів можна виокремити густину середовища (повітря)  $\rho$ , швидкість розповсюдження звука у повітрі  $v$ , динамічну в'язкість середовища  $\eta$ . Фізичні параметри являють собою константи, однак вони змінюються під дією певних факторів, що буде впливати на процес передачі інформації. На процес передачі інформації в акустичному каналі впливають наступні параметри: об'єм камери тиску вторинного перетворювача  $V$ , довжина імпульсної лінії  $l$  та її радіус  $r$ . Об'єм камери тиску  $V$  при вибраному типі перетворювача є незмінною величиною, яка складає  $11,555 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ . Незмінною величиною, що визначається технологічними особливостями, слід рахувати і довжину імпульсної лінії  $l$ . Тому радіус  $r$  імпульсної лінії є єдиним конструктивним параметром, що впливає на властивості акустичного каналу.

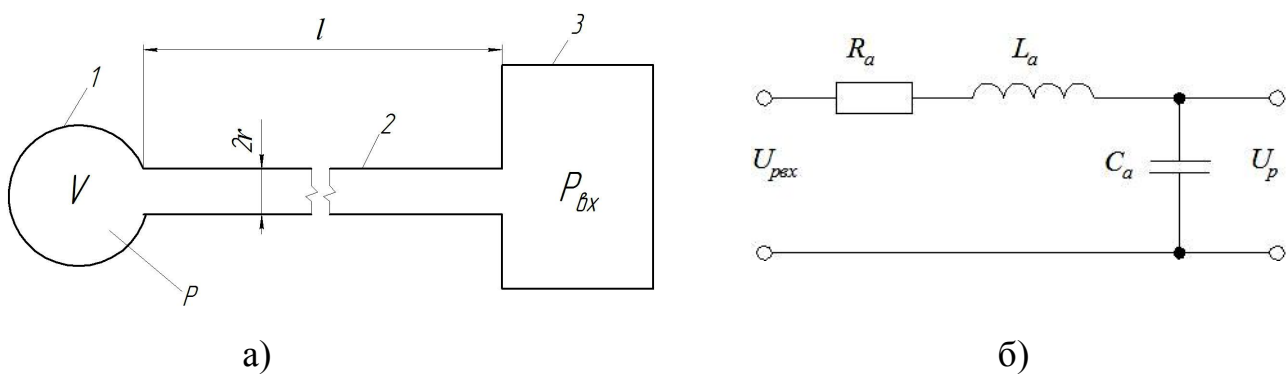


Рис. 1. Акустична система (а) і електричний аналог акустичного каналу (б):  
 1 – камера тиску вторинного перетворювача; 2 – імпульсна лінія;  
 3 – відкритий знизу гідростатичний (первинний) перетворювач;  
 $U_{пвх}$ ,  $U_p$  – напруги, що відповідають тиску  $P_{вх}$  і  $P$

Для дослідження властивостей акустичного каналу опишемо його математично, використавши електричний аналог (рис. 1, б). У режимі холостого ходу для акустичного каналу (рис. 1, б) буде справедлива залежність

$$K_U(j\omega) = \frac{U_p(j\omega)}{U_{пвх}(j\omega)} = \frac{-j \frac{1}{\omega C_a}}{R_a + j\omega L_a - j \frac{1}{\omega C_a}}. \quad (1)$$

Поділимо чисельник і знаменник (1) на  $-j \frac{1}{\omega C_a}$  і отримаємо

$$K_U(j\omega) = \frac{U_p(j\omega)}{U_{пвх}(j\omega)} = \frac{1}{(1 - \omega^2 L_a C_a) + j\omega R_a C_a}. \quad (2)$$

Вираз (2) відповідає акустичному каналу, тому можливо записати

$$\frac{P(j\omega)}{P_{вх}(j\omega)} = \frac{1}{(1 - \omega^2 L_a C_a) + j\omega R_a C_a}, \quad (3)$$

де  $\omega$  – колова частота коливань пульпи;  $R_a$  – акустичний опір імпульсної лінії, що дорівнює  $R_a = 8\eta l / \pi r$ ;  $L_a$  – акустична індуктивність, що дорівнює  $L_a = 4l\rho / 3\pi r^{12}$ ;  $C_a$  – акустична ємність, що дорівнює  $C_a = V / \rho v^2$ .

Звільнившись від комплексності у знаменнику виразу (3) і відділивши дійсну і уявну частини, отримаємо

$$\frac{P(j\omega)}{P_{ex}(j\omega)} = \frac{(1 - \omega^2 L_a C_a)}{(1 - \omega^2 L_a C_a)^2 + \omega^2 R_a^2 C_a^2} - j \frac{\omega R_a C_a}{(1 - \omega^2 L_a C_a)^2 + \omega^2 R_a^2 C_a^2}. \quad (4)$$

Залежність (4) дозволяє отримати відношення  $P(\omega) / P_{ex}(\omega)$  як корінь квадратний з суми квадратів дійсної і уявної частини

$$\left| \frac{P(\omega)}{P_{ex}(\omega)} \right| = \frac{1}{\sqrt{(1 - \omega^2 L_a C_a)^2 + \omega^2 R_a^2 C_a^2}}. \quad (5)$$

Оскільки тангенс кута між додатнім напрямом дійсної осі і вектором функції (3) при будь-якій колівій частоті є відношенням уявної до дійсної частини виразу (4), фазову частотну характеристику акустичного каналу можливо подати залежністю

$$\varphi(\omega) = -\arctg \frac{\omega R_a C_a}{1 - \omega^2 L_a C_a}. \quad (6)$$

Як видно з залежності (5) і (6), передача сигналів по акустичному каналу залежить від колівій частоти коливань пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Пульпа у приймальному пристрої завиткового живильника здійснює складні рухи під дією захватних органів і піскового потоку. При проходженні захватного органу у нижній зоні завиткового живильника захоплюється доза пульпи, що визначається її рівнем, і утворюється хвиля. До входження у пульпу іншого захватного органу у приймальному пристрої відбувається перехідний процес з наступними особливостями: створений видаленим об'ємом рідкої суміші кратер заповнюється за рахунок «замикання» матеріалу; створена хвиля певний час рухається уперед і, досягнувши стінки сприйманого пристрою, відбивається від неї під прямим кутом і проходить шлях у зворотному напрямі, втрачаючи амплітуду; відбита хвиля взаємодіє з пісковим потоком класифікатора. Перехідний процес характеризується зміною рівня пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Амплітуда, період і довжина початкових хвиль визначаються рівнем пульпи у приймальному пристрої, тому в різних режимах роботи перехідні процеси сильно відрізняються між собою. При невеликих рівнях пульпи хвиля буде короткою з малою висотою. З підвищенням рівня пульпи довжина утворюваних хвиль зростає при збільшенні висоти. Більш високочастотні хвилі, створювані захватними органами, змішуються з низькочастотними хвилями піскового потоку. Період коливань пульпи від дії піскового потоку класифікатора складає 10...12,5 с, що відповідає колівій

частоті  $0,5 \dots 0,63 \text{ с}^{-1}$ . Ці коливання мають порівняно малу амплітуду. Значно більшу амплітуду мають коливання, викликані роботою захватних органів завиткового живильника. Їх період складає  $0,3 \dots 0,6 \text{ с}$ , а колова частота відповідно  $20,91 \dots 10,5 \text{ с}^{-1}$ . Акустичний канал повинен задовольняти даним умовам.

Адекватність тиску у первинному і вторинному перетворювачах відповідає умовам, коли відношення тиску  $P$  у камері 1 до вимірюваного тиску  $P_{ex}$  (рис. 1, а) дорівнює одиниці, а зсув фаз між ними – нулю за умов коливальності пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника. Відношення  $P/P_{ex}$  в усталеному та перехідних режимах характеризує точність вимірювання тиску пульпи, а фазове відставання  $P$  від  $P_{ex}$  – запізнювання в акустичному каналі, яке можливо визначати кутом  $\varphi$ . Найкраще досягати умови  $P=P_{ex}$ , тобто  $P/P_{ex}=1$ , а фазовий зсув  $\varphi=0$ , оскільки фазове відставання (запізнювання) також приводить до похибки визначення технологічних параметрів – рівня та тиску пульпи, а, як наслідок, – співвідношення тверде/рідке пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника.

Підставивши у (5) і (6) значення  $R_a$ ,  $L_a$  і  $C_a$ , виражені через конструктивні та фізичні параметри, і врахувавши, що степінь заспокоєння дорівнює  $h = 2\eta\sqrt{3IV} / \nu\rho r^3\sqrt{\pi}$ , а частота вільних коливань акустичного каналу  $\omega_0 = r\nu\sqrt{3\pi} / 2\sqrt{IV}$ , та зробивши перетворення, отримаємо

$$\left| \frac{P}{P_{ex}} \right| = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + 4h^2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}, \quad (7)$$

$$\varphi = -\arctg \left[ \frac{2h \frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2} \right]. \quad (8)$$

Аналіз залежностей степені заспокоєння та частоти вільних коливань акустичного каналу від фізичних та конструктивних параметрів показує, що їх можна подати як функції радіуса  $r$  імпульсної лінії, у яких коефіцієнти визначаються через прийняті фізичні та конструктивні сталі. Прийmemo середні значення фізичних параметрів  $\eta=1,86 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}\cdot\text{с}$ ,  $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$ ,  $\nu=340 \text{ м/с}$ . За прийнятих умов залежності будуть дорівнювати

$$\omega_0 = 88,619393 \cdot 10^3 r, \text{ с}^{-1} \quad (9)$$

$$h = 5,882353 \cdot 10^{-12} / r^3. \quad (10)$$

Прийmemo колову частоту  $\omega=12\text{с}^{-1}$  і будемо задавати різні значення  $r$ . Математичне моделювання процесу за формулами (7) і (8) з врахуванням (9) і (10) на персональному комп'ютері дозволило встановити зв'язки між відношенням

тисків і зсувом фази та діаметром імпульсної лінії. Дані математичного моделювання наведені у табл.1. З даних табл.1 витікає, що при діаметрах імпульсної лінії, які більші 0,008 м, фазовий зсув між вхідним і вихідним сигналами практично не виникає. При діаметрах імпульсної лінії близько 0,002 м невідповідність вхідного і вихідного тисків складає майже 2 %, що не допустимо по міркуванням точності. За таких умов і фазовий зсув між сигналами є відчутним. З ростом діаметра імпульсної лінії як фазовий зсув, так і невідповідність сигналів зменшуються. При діаметрі імпульсної лінії близько 0,01 м невідповідність тисків складає біля 0,07 %, що допустимо для визначення технологічних параметрів.

Наведені у табл.1 результати моделювання передачі сигналу по акустичному каналу отримані при середній коловій частоті коливань пульпи  $\omega=12 \text{ с}^{-1}$ . Характерними для завиткового живильника є і частота  $\omega=10 \text{ с}^{-1}$ , яка відповідає початку більш низькочастотного діапазону, та частоти  $\omega=0,5...0,65 \text{ с}^{-1}$ , що створюються дією піскового потоку класифікатора. Дослідженнями встановлено, що при частоті  $\omega=10 \text{ с}^{-1}$  за тих же незмінних умов невідповідність вхідного і вихідного тисків зменшується. Ще більше зменшення відбувається при частотах  $0,5...0,63 \text{ с}^{-1}$ . Такий же характер зміни відбувається і щодо фазового зсуву між даними сигналами при зменшенні частоти колових коливань пульпи, що не входить у суперечність зі знайденими умовами виконання імпульсної лінії.

Таблиця 1

Залежність відношення тиску у вторинному перетворювачі до його вхідного значення та різниці фаз між ними при різних діаметрах імпульсної лінії і частоті коливань пульпи  $\omega=12 \text{ с}^{-1}$ .

Внутрішній діаметр імпульсної лінії, м	Радіус імпульсної лінії, м	Відношення тисків $ P/P_{\text{вх}} $	Відносна похибка визначення тиску, %	Значення аргументу функції (8)	Фазовий зсув, "
0,002	0,001	1,0186785	1,87	0,001623	-334,73
0,004	0,002	1,0046051	0,46	0,0001	-20,63
0,006	0,003	1,0020440	0,20	0,0000197	-4,06
0,008	0,004	1,0011473	0,12	0,0000062	-1,28
0,010	0,005	1,0007338	0,07	0,0000026	-0,52
0,012	0,006	1,0005095	0,05	0,0000012	-0,25
0,014	0,007	1,0003743	0,04	0,00000066	-0,14
0,016	0,008	1,0002866	0,03	0,00000039	-0,08
0,018	0,009	1,0002264	0,02	0,00000024	-0,05
0,020	0,010	1,0001834	0,02	0,00000016	-0,03
0,022	0,011	1,0001516	0,015	0,00000011	-0,02
0,024	0,012	1,0001273	0,01	0,000000077	0,015

Для остаточного обґрунтування вибору діаметра імпульсної лінії необхідно провести дослідження на можливому найбільшому значенні колової частоти  $\omega=21 \text{ с}^{-1}$ . Дані математичного моделювання акустичного каналу, виконані

на персональному комп'ютері, приведені на рис.2. На рисунку для порівняння приведена залежність при  $\omega=12 \text{ с}^{-1}$ . З рис.2 видно, що при збільшенні частоти як амплітудні, так і фазові показники дещо погіршуються, але не суттєво. З ростом діаметра імпульсної лінії і відносна похибка визначення тиску, і фазовий зсув  $\varphi$  між вихідним і вхідним тиском в акустичному каналі зменшуються у розглянутому діапазоні колових частот. При діаметрі імпульсної лінії 0,018 м додаткова похибка вимірювання тиску пульпи складає не більше +0,069%, а фазовий зсув не виникає, що допустимо для даного процесу визначення технологічних параметрів.

Розглянуті результати дослідження отримані при середніх значеннях динамічної в'язкості повітря  $\eta$ , його густини  $\rho$  та швидкості розповсюдження звука у повітрі  $v$ , які залежать від температури, і, як наслідок, змінюють  $R_a$ ,  $L_a$ ,  $C_a$  акустичного каналу. Тому при прийнятих конструктивних параметрах акустичного каналу можуть змінити значення похибок, оскільки температура навколишнього середовища в умовах збагачувальних фабрик може змінюватися від +5°C до +40°C. Відповідно залежностям  $\eta$ ,  $\rho$  і  $v$  від температури знаходились акустичні параметри каналу при різних її значеннях. Частота коливань пульпи вибрана сама несприятлива  $\omega=21 \text{ с}^{-1}$ , а діаметр імпульсної лінії –  $d=0,018 \text{ м}$ . Результати моделювання, виконані на персональному комп'ютері, приведені в табл. 2.

З даних табл.2 видно, що імпульсна лінія повинна мати внутрішній діаметр 0,018 м, оскільки похибки виникають незначні

Для забезпечення незмінної чутливості акустичної системи необхідно зменшити висоту первинного перетворювача так, щоб компенсувати додатковий об'єм, внесений імпульсною лінією і вторинним перетворювачем тиску.

Забезпечення адекватності тиску первинних і вторинних перетворювачів обох акустичних систем перевірялося у лабораторних умовах на стенді (рис.3). Перетворювачі тиску 2 були укорочені на величину додаткового об'єму, внесеного імпульсними лініями 1 і вторинними перетворювачами.

Таблиця 2

Значення точнісних параметрів акустичної системи при різних температурах навколишнього середовища

Показники	Температура навколишнього середовища, °C		
	5	20	40
Відносне значення відхилення відношення вихідного до вхідного тиску, %	0,072	0,069	0,064
Фазовий зсув між вхідним і вихідним тисками, "	0,072	0,069	0,064



Тиск контролювався безпосередньо на виході первинних перетворювачів 2 і у кінці імпульсної лінії діаметром 0,018 м. Для контролю тиску використовувалися однакові вторинні перетворювачі. Імітатор приймального пристрою завиткового живильника 3 працював у двох режимах. У першому режимі роботи вимірюване середовище (вода) приймало різні незмінні значення рівня, що створювало певні тиски, які фіксувалися вторинними перетворювачами. У експериментах рівні рідини змінювалися від мінімального до максимального значення. Експерименти проводились при температурах +5...7°C, +20...23°C, +35...40°C. Показання вторинних і первинних перетворювачів повністю співпадали між собою. У другому режимі імітатор приймального пристрою забезпечував коливальні вертикальні рухи вимірюваного середовища відносно середніх значень 150, 300 і 450 мм з частотою 10 с<sup>-1</sup>, 15 с<sup>-1</sup>, 20 с<sup>-1</sup> та 5 с<sup>-1</sup>. Температурні режими були однаковими. Вторинні перетворювачі забезпечувалися електронними блоками, які визначали середнє значення сигналів. У результаті експериментів встановлено, що показання пристроїв відповідають середнім значенням рівня рідини, результати вимірювання тиску первинними і вторинними перетворювачами практично не відрізнялись між собою. Отже, теоретичні висновки повністю підтверджені експериментально – тиск у первинних перетворювачах відповідає тиску у вторинних перетворювачах.

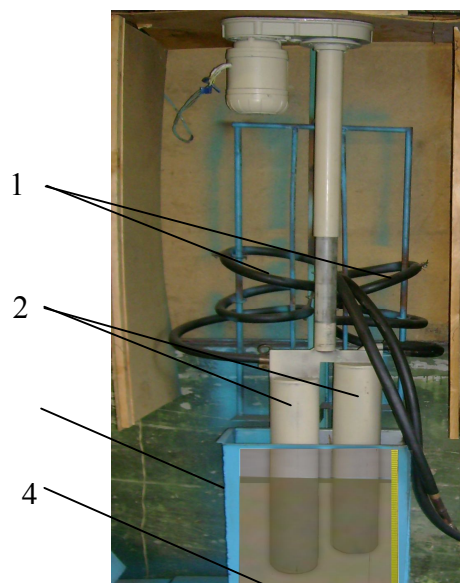


Рис. 3. Стенд для випробування акустичних систем, які використовують при ототожненні розрідження пульпи у приймальному пристрої завиткового живильника: 1 – імпульсні лінії; 2 – первинні перетворювачі тиску; 3 – імітатор приймального пристрою завиткового живильника; 4 – вимірюване середовище

Таким чином, для вимірювання тиску пульпи при ототожненні її розрідження у приймальному пристрої завиткового живильника необхідно використовувати імпульсні лінії довжиною 3 м, внутрішнім діаметром 0,018 м і вторинні перетворювачі типу САПФІР-22М-ДИ2120. Для незмінності чутливості пер-

винні циліндричні перетворювачі необхідно укоротити, компенсуючи об'єм, доданий імпульсною лінією і камерою вторинного перетворювача. Зміна температури навколишнього середовища у межах +5°C...+40°C не порушує адекватності тиску первинних і вторинних перетворювачів. Зроблені теоретичні висновки щодо діаметра імпульсної лінії повністю підтверджені експериментально.

У процесі проведення даних досліджень вперше створена акустична система ототожнення розрідження пульпи при подрібненні пісків класифікатора з адекватністю тисків первинних і вторинних перетворювачів у складних технологічних умовах, що дозволяє значно підвищити точність автоматичного керування процесом. Знайдені підходи теоретичного описання і математичного моделювання таких акустичних систем, що дозволяє більш ефективно розробляти акустичні засоби вимірювання та ототожнення параметрів у складних технологічних умовах. Практична значущість проведених досліджень полягає у тому, що отримані конкретні конструктивні параметри акустичної вимірювальної системи, придатні для використання при автоматизації подрібнення пісків двоспірального класифікатора.

Перспективою подальших досліджень є можливість розробки промислового зразка пристрою для ототожнення розрідження пульпи при подрібненні пісків двоспірального класифікатора та створення системи автоматизації процесів керування цим параметром.

#### Список літератури

1. А.с. 388790 СССР, МКИ В 03 б 11/00. Устройство для автоматического контроля загрузки и стабилизации разжижения пульпы в мельнице / Ф.Н. Дегтярев, А.А. Мерзляков, В.А. Кондратец, В.И. Новохатько, Н.И. Кучма, Т.И. Гуленко (СССР). – 1420849/29-33; заявл. 30.03.70; опубл. 05.07.73, Бюл. № 29.
2. Пат. 7741 Україна, МКВ 7 В 03 В 11/00. Спосіб автоматичного контролю розрідження пульпи в млинах, що подрібнюють піски механічних класифікаторів / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник та патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. - №20041007979; заявл. 01.10.2004; опубл. 15.07.2005, Бюл.№7.
3. Пат. 87374 С2 Україна, МПК G 01 F 23/00. Спосіб вимірювання рівня рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №200712196; заявл. 05.11.2007; опубл. 10.07.2009, Бюл. №13.
4. Пат. 62133 Україна, МПК G 01 L 7/00. Спосіб вимірювання тиску рідких середовищ з хвильовими коливаннями / Кондратець В.О., Мацуй А.М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет.- №u201101692; заявл. 14.02.2011; опубл. 10.08.2011, Бюл. №15.
5. Кондратець В.О. Ідентифікація співвідношення руда/вода в процесі подрібнення пісків класифікатора / В.О. Кондратець, А.М. Мацуй // Вісник Вінницького політехнічного інституту.- 2009.- №3.- С. 8-12.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещераковим Л.І.  
Надійшла до редакції 08.05.2013*

## ПОСТРОЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИНДУКТОРА, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ЛЬДА С ПРОВОДОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ НАЗЕМНОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

На основі електромагнітного способу боротьби з обледенінням проводів контактної мережі наземного міського електротранспорту розроблена фізична модель індуктора, а саме функціональна схема, електрична схема підключення та загальний вигляд діючого макета індуктора. Розглянута методика проведення лабораторних досліджень діючого макету індуктора. Наведені результати нагріву проводу контактної мережі.

На основе электромагнитного способа борьбы с обледенением проводов контактной сети наземного городского электротранспорта разработана физическая модель индуктора, а именно функциональная схема, электрическая схема подключения и общий вид. Рассмотрена методика проведения лабораторных исследований действующего макета индуктора. Приведены результаты нагрева проводника контактной сети.

A physical model of inductor including the functional diagram, the electrical diagram and the general view, on the basis of electromagnetic method of de-icing contact wires of the surface municipal electric transport is developed. The technique of laboratory research for working model of the inductor is considered. The results of heating the conductor contact system are presented.

Разработка физической модели индуктора проводилась на основе представления реального процесса нагрева проводов электрической сети различного сечения. При этом принимались во внимание принципы действия и работа электротехнических устройств, необходимых для нагрева проводника в электромагнитном поле. Конечной целью физического моделирования было проведение исследования, направленного на подтверждения графика зависимости коэффициента тепловой диссипации от частоты электромагнитного поля индуктора. Функциональная схема физической модели индуктора приведена на рис. 1.

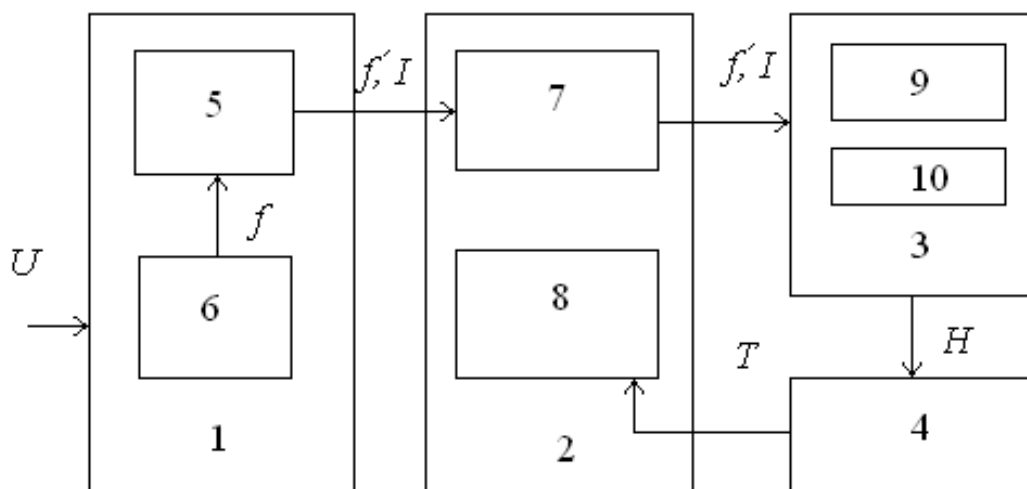


Рис. 1. Функциональная схема физической модели индуктора

На рис. 1 цифрами обозначено: 1 – генерирующий модуль, 2 – измерительный модуль, 3 – индуктор, 4 – объект исследований, 5 – усилитель мощности, 6 – генератор частоты, 7 – блок измерения электрических величин, 8 – блок измерения температуры, 9 – магазин конденсаторов, 10 – обмотка индуктора с магнитопроводом из феррита.

Блок-схема физической модели индуктора состоит из следующих основных элементов (модулей):

1. Генерирующий модуль.
2. Измерительный модуль.
3. Индуктор.
4. Объект исследований.

В первый модуль входит генератор частоты (в данном эксперименте использовался генератор типа «ГЗ-111»), а также усилитель мощности (тип «Барк У-001»). Генерирующий модуль берет питание от внешнего источника (сеть переменного напряжения 220 В). Генератор частоты выдает на усилитель напряжение с заданной исследователем частотой. После усиления сигнал подается непосредственно на индуктор через измерительный модуль.

Измерительный модуль состоит из двух частей:

- блок измерения электрических величин, а именно напряжение на входе индуктора, потребляемая мощность, ток и частота тока в обмотке индуктора;
- блок измерения температуры.

Блок измерения электрических величин позволяет достигнуть в цепи обмотки индуктора резонанс напряжений, о необходимости которого будет сказано ниже. Блок состоит из амперметра, ваттметра и частотомера (в данном эксперименте используется универсальный измерительный прибор типа DT-9208-A).

Блок измерения температуры основан на базе универсального измерительного прибора типа DT-838 с термопарой.

Индуктор состоит из двух главных составляющих:

- феррита, на который намотана обмотка. Причем феррит имеет воздушный зазор, в который непосредственно и помещается провод контактной сети;
- магазин конденсаторов с переключателями тонкой и грубой настройки.

Необходимость последовательного подключения батареи конденсаторов обусловлена тем, что обмотка индуктора имеет значительное индуктивное сопротивление при малом активном сопротивлении, а значит ток в обмотке оказывается минимальным при остальных равных условиях.

Следовательно, чтобы увеличить ток в обмотке индуктора (при тех же энергетических затратах), а значит и напряженность магнитного поля в воздушном зазоре, в который помещается проводник, необходимо внести емкостное сопротивление равное индуктивному по величине.

Таким образом, при последовательном подключении конденсаторов будет наблюдаться резонанс напряжений и ток в цепи обмотки индуктора оказывается максимальным, а эффект нагрева проводника контактной сети городского электротранспорта при прочих равных условиях – оптимальным.

Настройка на резонанс напряжений осуществляется с помощью блока измерения электрических величин непосредственно через генерирующий модуль (включая тот или иной конденсатор различной емкостью на выбранной исследователем частоте).

Действующий макет индуктора представлен на рис. 2.



Рис. 2. Действующий макет индуктора

Объектом исследования является проводник контактной сети городского наземного электротранспорта (в нашем случае – троллейбуса). В эксперименте были проведены исследования на трех разных диаметрах (2 мм, 4 мм и 8 мм).

Электрическая схема подключения индуктора представлена на рис. 3.

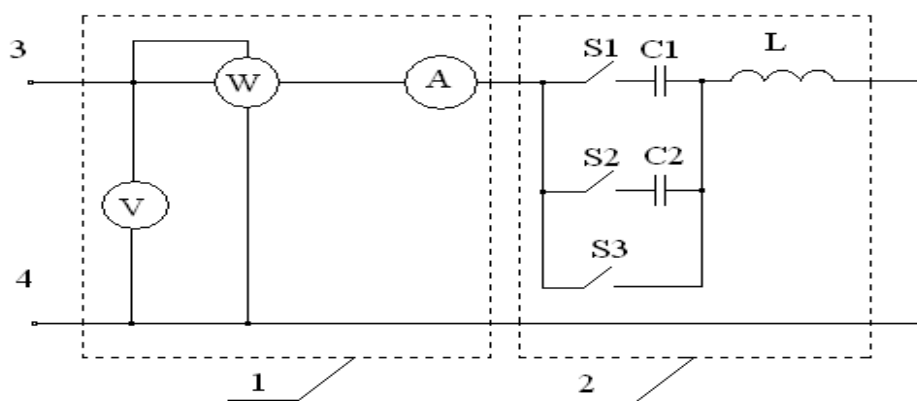


Рис. 3. Электрическая схема подключения индуктора

На рис. 3 обозначено: 1 – Блок измерения электрических величин (без частотомера), 2 – индуктор, W – ваттметр, V – вольтметр, A – амперметр, C1 и C2 – соответственно части магазина конденсаторов для грубой и плавной настройки резонанса напряжений, S1 и S2 – соответственно переключатели грубой и плавной настройки, S3 – переключатель, отключающий магазин конденсаторов, L – индуктивность обмотки индуктора на ферритовом сердечнике, 3 и 4 – зажимы, к которым подключается выход от усилителя мощности.

Выполнение эксперимента осуществляем по следующему алгоритму:

1. Собираем схему подключения индуктора согласно рис. 3. Перед сборкой схемы необходимо убедиться в работоспособности отдельных составляющих ее элементов.
2. Включаем генератор и усилитель, выставляем нужную частоту (в диапазоне от  $0,5$  кГц до  $20$  кГц).
3. Настроить резонанс напряжений с учетом постоянства мощности (в нашем случае  $16$  Вт).
4. Записываем показания приборов (частота и ток обмотки) и отключаем индуктор, охлаждая провод контактной сети, расположенный в воздушном зазоре магнитопровода индуктора, до начальной температуре.
5. Охладив проводник, включаем генератор и одновременно таймер. Снимаем показания блока измерения температуры через определенные промежутки времени (рекомендуется в начале нагрева снимать показания через  $5-10$  с, а к концу нагрева интервал увеличивают до  $1-2$  мин) с общей продолжительностью проведения эксперимента на одной частоте  $6-7$  мин (дальнейший нагрев не целесообразно осуществлять, так как существенного изменения температуры не наблюдается).
6. После снятия показаний, эксперимент повторяют на следующей частоте, повторяя п.3-5.
7. Завершив исследования на одном диаметре переходят на следующий и повторяют п.3-5.
8. Отключаем приборы, а проводник охлаждаем во избежании самовозгорания или плавки посторонних предметов.

В таблице 1 приведены результаты нагрева проводника диаметром  $2$  мм.

Для определения частотных характеристик макета индуктора, а именно оптимальной частоты электромагнитного поля, в котором помещены образцы проводника контактной сети различного диаметра, необходимо аппроксимировать кривые нагрева.

Ближайшей функцией нагрева по [1] является уравнения следующего вида:

$$T = a - be^{-\frac{t}{c}}, \quad (1)$$

где  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – параметры уравнения;  $t$  – время.

Для нахождения параметров уравнения (1) воспользуемся методом наименьших квадратов, согласно которого сумма квадратов отклонений расчетных и опытных значений температур будет минимальной.

В нашем случае для диаметра проводника  $d = 2$  мм и частоты электромагнитного поля индуктора  $f = 1,88$  кГц параметры соответственно равны  $a = 58$ ,  $b = 38$ ,  $c = 20,39$ . На рис. 4 приведен график зависимости нагрева полученные экспериментально (исходные данные приведены в табл. 1) и вычисленные (базовое уравнение 1) для диаметра проводника  $d = 2$  мм и частоты  $f = 1,88$  кГц.

Таблица 1

Нагрев провода ( $T$ , °C) во времени в зависимости от частоты электромагнитного поля при диаметре проводника  $d = 2$  мм

Время $t$ , с Частота $f$ , кГц (Ток $I$ , А)	5	10	15	20	30	45	60	90
	120	150	180	210	240	270	300	360
1,88 (3,90)	30	35	39	44	50	53	55	56
	56	57	57	58	58	58	59	60
3,90 (3,00)	33	47	58	68	85	103	115	129
	136	139	141	142	142	143	143	143
4,40 (2,90)	34	51	61	71	90	109	122	136
	143	146	147	148	148	149	149	149
6,17 (2,45)	36	52	68	82	103	125	140	155
	162	167	168	168	168	168	168	169
8,62 (1,95)	38	54	69	85	107	130	146	164
	172	176	178	179	180	180	181	181
12,39 (1,70)	39	56	76	90	115	140	161	183
	192	196	198	199	200	201	201	202
15,95 (1,50)	40	59	76	91	119	147	170	195
	206	212	215	216	217	217	218	218
18,75 (1,30)	36	53	69	83	108	134	153	179
	191	196	200	201	202	203	203	203

Примечания: 1. Начальная температура нагрева  $20^{\circ}\text{C}$ ; 2. Электрическая мощность 16 Вт.

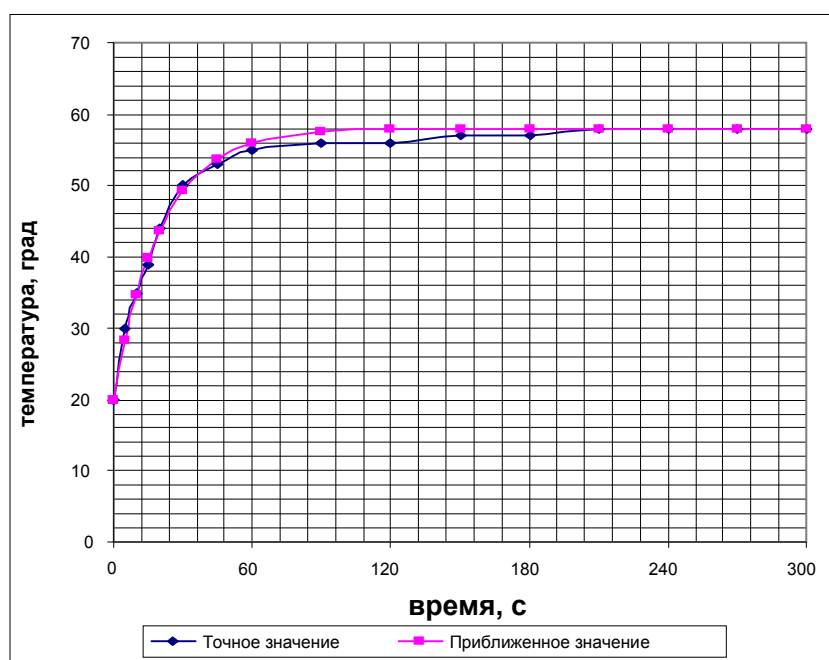


Рис. 4. Точное и приближенные значения температур для диаметра проводника  $d = 2$  мм и частоты  $f = 1,88$  кГц

Результаты аппроксимации приведены соответственно в табл. 2. Кроме того, в ней даны значения коэффициента  $\gamma$ , который показывает долю проникновения электромагнитного поля в проводник. Коэффициента  $\gamma$  рассчитываем, преобразовав уравнение [(6), 2], следующим образом:

$$\gamma = d \sqrt{\frac{f}{k}}, \quad (2)$$

где  $d$  – диаметр проводника, мм;  $f$  – частота электромагнитного поля индуктора, кГц;  $k$  – параметр, зависящий от свойств проводника, в данном случае равный 4,54.

Дополнительно в табл. 2 приведены значения критерия достоверности Ястремского  $J$ , который определяется по формуле [3]:

$$J = \frac{|C - N|}{\sqrt{2N + 4\theta}}, \quad (3)$$

где  $C = \sum \frac{(f - f')^2}{f'}$ ,  $N$  – число групп или классов вариационного ряда;  $\theta$  – величина, зависящая от числа групп  $N$ ; при  $N \leq 20$  величина и не превосходит 0,6.

Так как число классов (в нашем случае количество исследуемых частот поля) не превышает 20, то величину  $4\theta$  можно считать равной 2,4;  $f$  и  $f'$  – соответственно эмпирические и вычисленные частоты ряда (в нашем случае, значения температуры полученные опытным путем и рассчитанные).

Таблица 2

Параметры уравнений нагрева проводника при диаметре  $d = 2$  мм

Частота $f$ , кГц	1,88	3,90	4,40	6,17	8,62	12,39	15,95	18,75
Коэффициент $\gamma$	1,29	1,85	1,97	2,33	2,76	3,30	3,75	4,06
Параметры уравнения:								
$a$	58	143	149	168	181	210	218	203
$b$	38	123	129	148	161	181	198	183
$c$	20,39	40,55	38,75	37,05	39,68	40,77	43,59	46,31
Критерий достоверности Ястремского $J$	2,67	2,71	2,69	2,65	2,68	2,66	2,68	2,65

Величина  $J$  имеет непрерывную функцию распределения и подчинена нормальному закону. Следовательно, с вероятностью  $P = 99,5\%$  можно утверждать, что различия, наблюдаемые между эмпирическими  $f$  и вычисленными  $f'$  частотами носят случайный характер, если  $J \leq 3$ . Как показал расчет значения критерия Ястремского находятся в диапазоне от 2,65 до 2,71 и это меньше чем критическое значение этого показателя, равное 3. Таким образом, кривые нагрева проводника, помещенного в переменное электромагнитное поле, полученные расчетным способом полностью согласуются с полученными опытным путем, а различия между ними носят случайный характер с вероятностью  $P = 99,5\%$ .



Для определения оптимальной частоты электромагнитного поля индуктора, т.е. частоты при которой нагрев проводника помещенного в поле будет происходить при минимальных энергетических затратах, а значит за минимальный промежуток времени, возьмем первую производную от уравнения (1) в точке  $t = 0$ :

$$T' = \frac{b}{c} e^{-\frac{t}{c}} \quad (4)$$

Подставляя значения параметров нагрева из табл. 2 для момента времени  $t = 0$ , находим значения первой производной для различных кривых нагрева.

Результаты расчета первой производной, т.е. скорости нагрева, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения скорости нагрева в зависимости от параметра  $\gamma$  при диаметре  $d = 2 \text{ мм}$

Параметр $\gamma$	1,29	1,85	1,97	2,33	2,76	3,30	3,75	4,06
Скорость нагрева $T'(t = 0)$	1,864	3,033	3,329	3,995	4,057	4,440	4,542	3,952

По данным табл. 3 строим график для диаметра 2 мм (рис. 5).

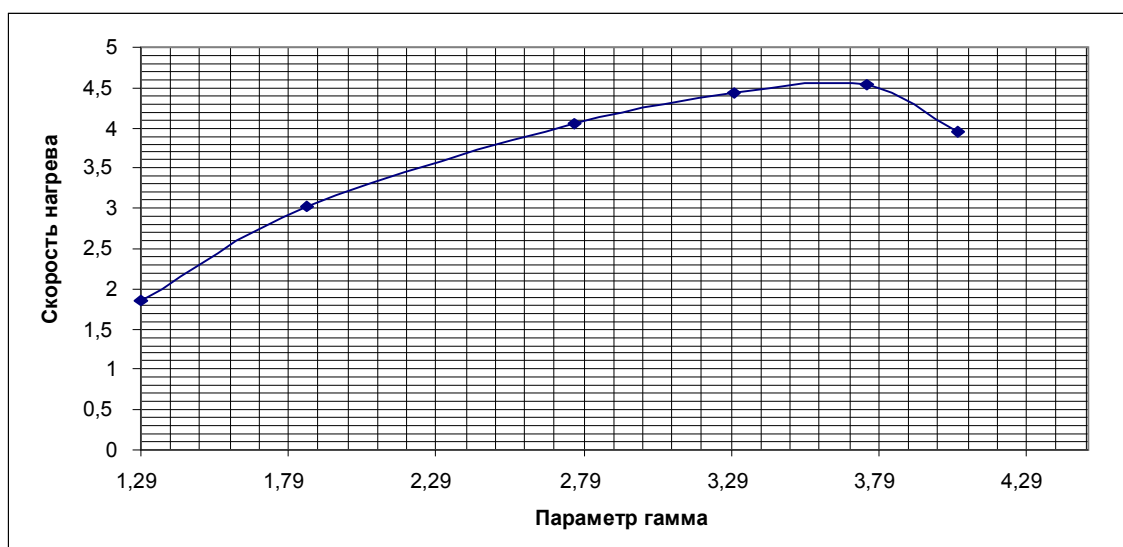


Рис. 5. График функции скорости нагрева проводника от параметра  $\gamma$  при диаметре  $d = 2 \text{ мм}$

Максимум данной зависимости (рис. 5) равен при следующих значениях параметра  $\gamma$  для диаметра  $d = 2 \text{ мм}$  – 3,75, что соответствует значению частоты 15,95 кГц электромагнитного поля индуктора, в которое помещен исследуемый проводник. Эти значения не плохо согласуются с данными, полученными расчетным путем (табл. 2 [2]), а именно, для диаметра  $d = 2 \text{ мм}$  – 17,0 кГц. При этом отклонение равно 6,2 %.

**Выводы.** В процессе физического моделирования процесса удаления льда с проводов контактной сети наземного электротранспорта способом индукционного нагрева получены следующие результаты:

1. Разработана физическая модель процесса удаления льда индукционным способом;

2. Получены результаты нагрева проводника разного диаметра при изменении частоты электромагнитного поля.

3. Установлена зависимость скорости нагрева проводника от параметра глубины проникновения электромагнитного поля при различных диаметрах проводника.

#### Список литературы

1. Семендяев К.А. Эмпирические формулы. – М.-Л.: Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1933. – 132 с.
2. В.Н. Лапицкий, А.Г. Рудченко. Минимизация энергетических затрат индуктора, применяемого для удаления льда с проводов контактной сети наземного электротранспорта // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників – 2011» – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2011. – С. 54-58
3. Рушинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента.– М.: Наука, 1971.–192 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.  
Надійшла до редакції 30.04.2013*

УДК 004.932

© И.Н. Гаркуша

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ КОСМОСНИМКОВ В ЗАДАЧАХ ТЕПЛОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ГОРОДОВ**

Рассмотрена технология применения скриптов автоматизации и инструментария ГИС GRASS при обработке разновременных мультиспектральных космоснимков Landsat-5 TM, включающих данные теплового канала. Представлены результаты обработки данных на примере города Березники (Российская Федерация), представлена одна из результирующих цифровых карт распределения температур.

Розглянута технологія використання скриптів автоматизації та інструментарію ГІС GRASS при обробці різночасових багатоспектральних космоснімків Landsat-5 TM, які містять дані теплового каналу. Представлені результати обробки даних на прикладі міста Березники (Російська Федерація) та представлена одна з результируючих цифрових карт розподілу температур.

The technology of application of automation scripts and tools GIS GRASS in processing of multispectral satellite images Landsat-5 TM, including data of thermal channel. Presents the results of processing data on the example of the city of Berezniki (Russian Federation), presents one of the resulting digital maps of the temperature distribution.

**Введение.** На кафедре геоинформационных систем в течение ряда лет проводятся работы по выявлению температурных аномалий территорий городов Украины, составлению карт распределения приповерхностной температуры

и ее взаимосвязи с различными геолого-геофизическими характеристиками по данным разновременной мультиспектральной космосъемки [1, 2]. Большую роль в этом процессе играют инструментарий и методы организации обработки космоснимков.

Наиболее известными системами обработки данных дистанционного зондирования Земли (данных ДЗЗ) из космоса являются крупные коммерческие продукты, например такие, как ERDAS Imagine, ENVI, ER Mapper, TNT Mips. Однако многие, наиболее широко используемые операции: радиометрическая, геометрическая, атмосферная и градационная коррекции, трансформирование и ортотрансформирование, растровая алгебра, фильтрация, классификация, сегментация, спектральный анализ, оцифровка объектов местности, доступны не только в коммерческом, но и в общедоступном, свободном программном обеспечении (СПО). К нему относится целый комплекс программ, например, ГИС GRASS, MultiSpec, Opticks, BEAM, SAGA GIS, gvSIG, Quantum GIS, SciLab и другие. Одну из ведущих ролей в процессе обработки с использованием СПО играют библиотеки GDAL, PROJ.4 и утилиты их использующие.

Одной из проблем, возникающих при обработке большого количества космоснимков, например, для целей температурного картографирования, является однообразность, рутинность выполнения определенных операций, занимающих длительное время в случае ручного, интерактивного выполнения в перечисленных выше средах. В некоторых продуктах существуют специализированные инструменты, позволяющие автоматизировать ряд операций по обработке данных ДЗЗ. К таким инструментам относятся: Model Maker (ERDAS Imagine), язык IDL (ENVI), Graphical Modeler (ГИС GRASS), язык скриптов командного процессора, например, Bash операционных Unix/Linux-совместимых систем.

Как показали эксперименты, наибольшую эффективность в автоматизации можно добиться, применяя последний из перечисленных инструментов. Это объясняется несколькими причинами. Во-первых, все операции по обработке данных ДЗЗ в растрово-векторной ГИС GRASS выполняются через определенные команды, представленные отдельными программными модулями, вызываемыми из среды выполнения GRASS. Даже в случае использования графического интерфейса пользователя, в конечном итоге будет сформирована определенная команда выполнения. Во-вторых, использование средств командного интерпретатора операционной системы добавляет большую гибкость при составлении скриптов управления процессом обработки, поскольку позволяет использовать как встроенные скриптовые конструкции и правила написания, так и возможности вызова внешних утилит обработки. Все это в комплексе может способствовать созданию специализированных, гибких механизмов выполнения однообразных операций над множеством данных и их быстрой обработке, что в свою очередь, в значительной степени, повышает ручной труд оператора.

**Цель работы.** Целью являлась разработка комплекса программных скриптов для ГИС GRASS, исполняемых под управлением командного интерпретатора Bash в GNU/Linux-среде, обеспечивающих автоматизированное создание цифровых карт распределения приповерхностной температуры по данным разновременной мультиспектральной съемки сканера Landsat-5 TM.

В ходе работы решены задачи:

- определение области участка исследования;
- извлечение из архивов космоснимков заданной территории;
- импорт каналов мультиспектральных изображений в базу геоданных GRASS;
- преобразования с целью получения значений в единицах спектральной энергетической яркости, падающего на сенсор излучения (spectral radiance);
- атмосферная коррекция растров за исключением данных тепловых каналов;
- обработка растровых данных тепловых каналов;
- задание палитр отображения растровых данных в окнах результатов обработки;
- подготовка карт распределения приповерхностной температуры заданной территории.

**Тепловое (температурное) картографирование.** Исходными данными являлись 9-ть мультиспектральных космоснимков, полученных сканером съемки Landsat-5 TM, уровень обработки L1T, опорная система: WRS-2; Path: 167, Row: 019; Path: 167, Row: 018; Path: 168, Row: 018. Даты съемок: 16.07.2006, 17.06.2007, 3.07.2007, 25.08.2009, 25.06.2010, 2.07.2010, 13.09.2010, 28.06.2011, 14.07.2011.

Исследуемый участок (рис. 1) – город Березники (Российская Федерация, Пермский край). Ограничивающий регион исследования: север – 6590788; юг – 6582840; восток – 492484; запад – 482736. Координатная система: WGS-84/UTM Zone 40N (код EPSG: 32640).

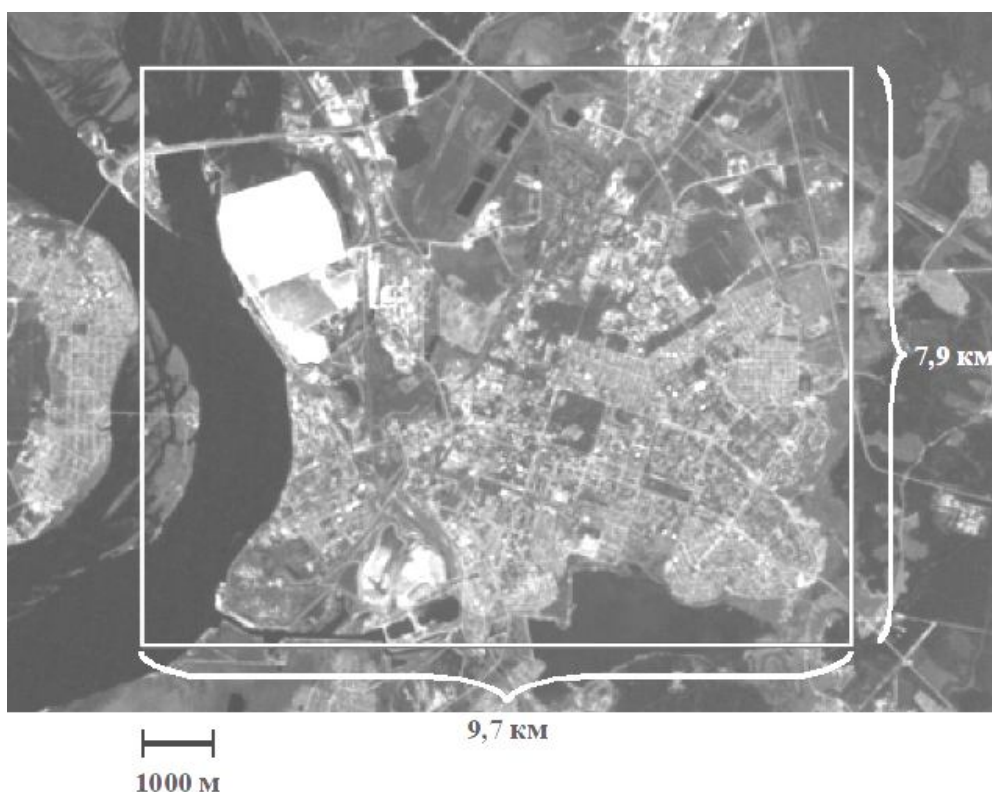


Рис. 1. Границы исследуемого участка (г. Березники, РФ, Пермский край)

Из-за расположенных на территории города крупных предприятий по добыче и переработке калийных солей, а также в связи с участвовавшими за последние несколько лет случаями очень сильного проседания почвы, экологическое состояние вызывает большое беспокойство.

Результаты автоматизированной обработки использовались для выявления взаимосвязи распределения приповерхностной температуры и зон с повышенным содержанием влаги. Установленные в работах [3, 4], а также по материалам Internet-сервиса WikiMapia места сильного проседания почвы, являлись эталонными участками исследования.

Для обработки 9-ти мультиспектральных снимков использована технология автоматизированной обработки на основе предложенных командных скриптов для ГИС GRASS. Этапы процесса обработки, автоматизированные при помощи скриптов, представлены на рис. 2.



Рис. 2. Этапы процесса обработки космоснимков, автоматизированные в ГИС GRASS

В силу того, что этап атмосферной коррекции стандартными инструментами ГИС GRASS (рассматривалась версия 6.4.2) предполагается только для каналов видимого, ближнего и среднего инфракрасных поддиапазонов спектра, то для теплового канала она не проводилась, а при расчете температуры использовался корректирующий коэффициент излучения (emissivity) равный 0,95.

Разработаны три скрипта автоматизации процессов, представленных на рис. 2: `extract.sh`, `startgrass.sh`, `tir_batch.sh`. Основная идея использования скриптов реализована в случае особого режима работы ГИС GRASS, когда из ко-

мандной строки возможно указать командный скрипт, предлагающий выполнение ряда действий при запуске ГИС в пакетном, неграфическом режиме. Имя скрипта должно быть передано специальной переменной среды окружения `GRASS_BATCH_JOB`.

В скрипте `extract.sh` реализованы процедуры распаковки файлов-архивов мультиспектральных данных. При этом распаковка производится для каждого архива в каталог с именем, соответствующим имени архива. Также при распаковке файлы метаданных каждого из космоснимков размещаются в созданном каталоге `metadata`. В скрипте производится анализ всех файлов метаданных, из которых извлекается дата получения съемки (дата (DD), месяц (MM), год (YYYY)). Затем изображения тепловых инфракрасных каналов собираются в отведенном для этого каталоге и именуются в формате `band6_YYYY_MM_DD.tif`. После операции извлечения производится вызов утилиты `gdal_translate` библиотеки GDAL для отсечения на каждом тепловом канале указанной области обработки. Таким образом, значительно сокращается объем вычислений, производимый в дальнейшем в ГИС GRASS.

При выполнении операций в `extract.sh` использованы вызовы таких GNU/Linux-утилит, как `tar` (для разархивирования мультиспектральных исходных данных), `sed` и `awk` для формирования промежуточной управляющей информации.

Для инициализации вычислений в скрипте `extract.sh` производится вызов скрипта `startgrass.sh` с передачей в нем через переменную окружения `GRASS_BATCH_JOB` скрипта выполнения команд `GRASS: tir_batch.sh`.

В ходе обработки использованы модули `GRASS: r.in.gdal` (импорт растровых изображений в форматах, поддерживаемых библиотекой GDAL), `r.mapcalc` (калькулятор растров), `r.colors` (создание или модификация цветовых палитр, ассоциированных с растрами), `g.region` (определение региона обработки), `v.in.region` (создание векторного слоя на основе границ текущего региона), `v.to.rast` (растеризация векторного слоя в растр, с целью дальнейшего его использования в качестве маски в калькуляторе растров), `g.remove` (удаление определенных растровых/векторных слоев), `d.mon` (создание нового окна графического вывода), `d.rast` (отображение в созданном графическом окне определенного растра), `d.rast.legend` (добавление легенды отображаемого растрового слоя в графическое окно); `r.out.png` (экспорт растра в графический формат файла PNG (Portable Network Graphics) без поддержки геореференцирования), `r.out.tiff` (экспорт растра в графический формат файла TIFF с пиксельным разрешением текущего региона отображения).

После выполнения командных скриптов результаты размещаются в определенном каталоге. Для удобства быстрого визуального просмотра полученных карт, результаты сохраняются как в базу геоданных GRASS, так и в файлы формата PNG (рис. 3).

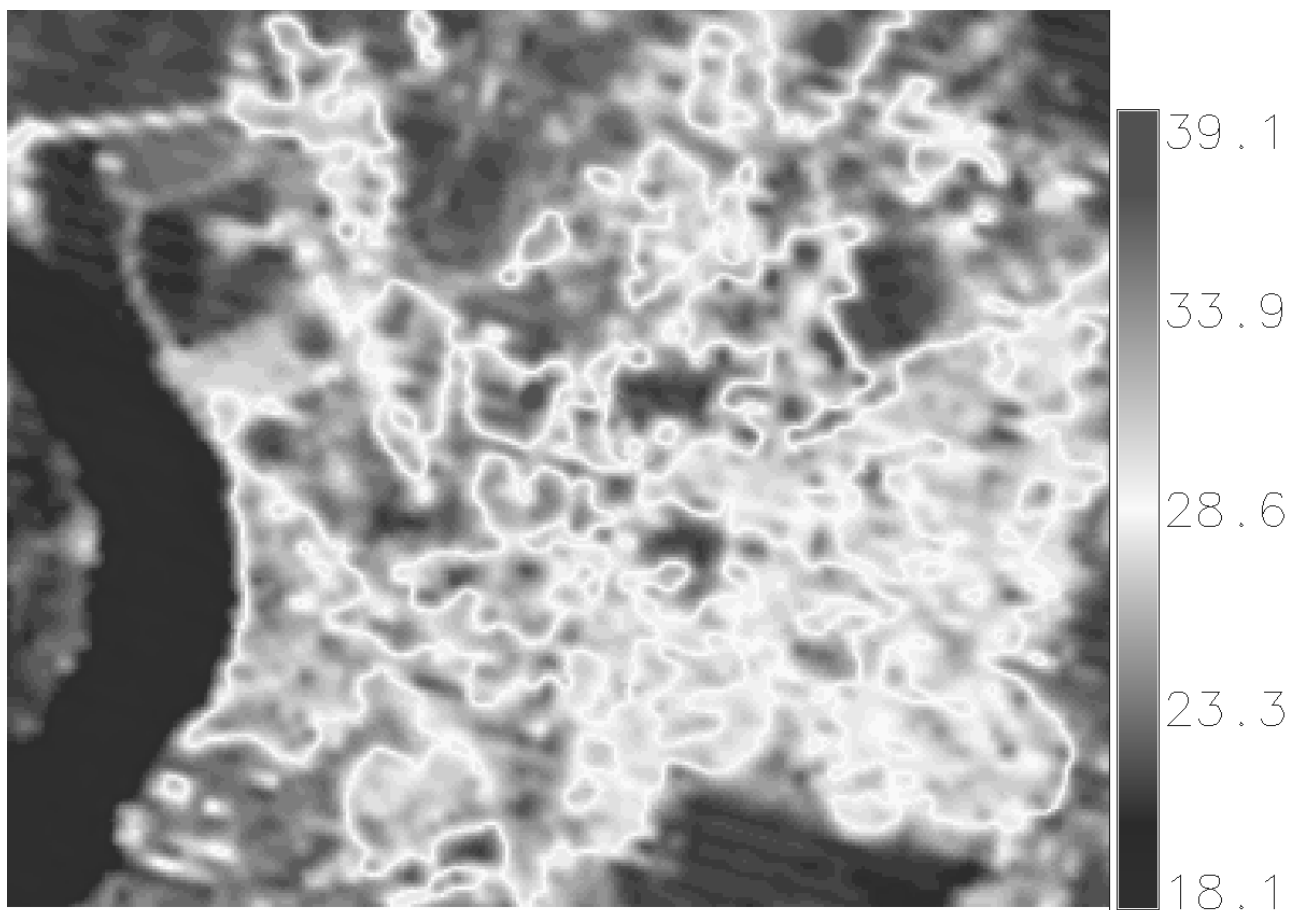


Рис. 3. Одна из 9-ти результирующих цифровых карт распределения температур (в  $^{\circ}\text{C}$ ), созданных скриптами автоматизации (г. Березники, дата съемки: 25.06.2010, время съемки: 13:10 по местному времени, 7:10 UTC)

Время обработки только данных тепловых каналов 9-ти мультиспектральных изображений Landsat-5 TM в операционной системе RFRmix (Fedora) 18 составило 57 секунд на процессоре Intel(R) Core(TM) i7-3770 3,4 ГГц и оперативной памяти 16 ГБайт (1600 МГц).

Результат распределения температур за 25.06.2010 полученный автоматизированным методом в ГИС GRASS был количественно сравнен с результатом вычислений, полученным в среде ENVI полуавтоматическим методом через интерактивный интерфейс пользователя.

Экспериментально установлено, что при использовании значения коэффициента излучения 0,95 и без процедуры атмосферной коррекции, результаты в ГИС GRASS отличались на диапазон значений от  $-0,6^{\circ}\text{C}$  до  $-0,43^{\circ}\text{C}$  от результатов, полученных в ENVI тем же методом. При этом наиболее близкий к ENVI результат вычислений получался при использовании значения коэффициента 0,956653. Разброс значений разностей температур составил от  $-0,081^{\circ}\text{C}$  до  $+0,025^{\circ}\text{C}$ , что является высоким показателем достоверности результатов вычислений. Незначительная разница в температурах возможно может быть вызвана небольшими отклонениями в алгоритмах вычисления либо в округлении коэффициентов в выражениях математических моделей.

**Выводы.** Разработанные скрипты автоматизации создания цифровых карт распределения температуры позволили в очень значительной степени сократить время обработки.

Количественное сравнение результатов вычислений в средах ГИС GRASS и ENVI показало, что существует незначительная разница, которая вполне допустима при вычислении такого зависимого от множества факторов параметра, как приповерхностная температура.

Сопоставление с эталонными зонами провалов почвы в г. Березники проводилось с использованием космоснимка высокого разрешения, полученного через технологии компании Google. Снимок был ретрансформирован в систему координат космоснимков Landsat-5 TM. Эта и дальнейшие операции проводились в полуавтоматическом режиме при помощи инструментов ГИС GRASS и Quantum GIS.

Визуальный анализ показал, что некоторое соответствие зонам пониженных температур и участков сильного проседания почвы, существует. Практически на всех 9-ти исследуемых космоснимках зоны с пониженными температурами соответствовали участкам либо с густой растительностью, либо заболоченным почвам. Такие зоны являются хорошими индикаторами наличия влаги в почве.

В дальнейших исследованиях планируется проведение количественного сравнения значений цифровых карт температуры с различными пространственно-временными показателями, имеющими отношение к рельефу местности и городской застройке.

#### Список литературы

1. Бусыгин Б. С., Гаркуша И. Н. Геоинформационная технология трехмерного моделирования Urban Heat Island по данным ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: материалы докладов (г. Москва, 2012). – М. СО РАН, 2012. – Электрон. видан. CD-ROM.
2. Бусыгин Б.С., Гаркуша И.Н. Геоинформационная технология температурного картографирования городов по данным космических съемок // XI Международная конференция “Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты”. Киев. 14-17 мая 2012. – Электрон. видан. CD-ROM.
3. Пермяков М.А., Васильева Е.Н., Геванов И.В., Шамина Е.П. Модель затопления рудника БКПРУ1 ОАО "Уралкалий" // ArcReview. – № 3(46), 2008. – С. 14-15.
4. Гневанов И.В., Шамин П.В. Оценка деформаций земной поверхности горных отводов ОАО "Уралкалий" в г. Березники методами радарной интерферометрии // Геоматика. – № 1, 2012. – С. 56-60.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 21.02.2013*



## АКТУАЛИЗАЦИЯ БАЗ ДАННЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ АТЛАСОВ В АВТОМАТИЗИРОВАННОМ РЕЖИМЕ

Статья посвящена вопросам автоматизации процесса сбора и подготовки данных для электронных атласов. Для решения этой задачи предложен подход к проектированию агентно-ориентированных интерфейсов для ГИС. Описана структура системы автоматического сбора данных и роли агентов в ней. Описаны основные способы анализа веб-страниц.

Стаття присвячена питанням автоматизації процесу збору й підготовки даних для електронних атласів. Для вирішення цієї задачі запропонований підхід до проектування агентно-орієнтованих інтерфейсів для ГІС. Описана структура системи автоматичного збору даних і ролі агентів у ній. Описані основні способи аналізу веб-сторінок.

The paper covers problems of automatic fetching and preparing data for electronic atlases. The approach to designing agent-oriented interfaces for GIS that is able to solve this task is proposed. The structure of the system for automatic data collection and agent's roles in it are described. Techniques of automated parsing of webpages are discussed.

**Введение.** Один из самых трудоёмких этапов создания электронных атласов – это процесс сбора, согласования и обработки атрибутивных (статистических) данных. Это обусловлено, в основном, их большим объемом и разнородностью. Особенно важен этот этап при создании пилотной версии атласа, когда отбор исходных данных выполняется с привлечением экспертов, принимающих участие и в других этапах разработки. Под атласом в данной работе понимается система электронных карт, объединённая единой целевой установкой в целостное картографическое произведение [1]. В случае электронных атласов, используемых при поддержке принятия решений в процессе регулирования устойчивого развития, основным их свойством должна быть актуальность информации (преимущественный формат которой – статистические таблицы, отражающие эколого-социально-экономические особенности изучаемых территорий).

Поэтому после создания готового продукта основной задачей должно стать поддержание атласа в актуальном состоянии. Этот процесс включает в себя сбор и добавление в базу данных атласа новых табличных, атрибутивных и статистических данных. В самом простом и наименее затратном случае обновление выполняется без создания новых тематических разделов, исключительно путем обновления и расширения временных диапазонов, в которых представлены разделы атласа.

На практике же после разработки электронных картографических продуктов интерес разработчиков, равно как и финансирование, угасает, за редкими исключениями в виде либо прибыльных (Google Earth), либо открытых для свободного редактирования «общественных» проектов (OpenStreetMap). Кроме того, многие электронные атласы выпускаются в виде CD-дисков, в этом случае оперативное обновление информационного наполнения технически невозможно, как и в случае бумажных изданий.

Поэтому актуальным является вопрос автоматизации процесса сбора исходных данных, который позволит поддерживать атлас в актуальном состоянии без значительных трудозатрат.

**Постановка задачи и существующие способы ее решения.** Одной из проблем в организации процесса поиска и сбора данных для атласа является разнородность источников данных. В настоящее время наиболее удобным и быстрым каналом поступления данных являются глобальные компьютерные сети, в частности, Интернет. Специфика использования сети Интернет состоит в том, что она, с точки зрения процесса создания атласа, представляет собой распределенную систему разнородных источников данных. Поиск и сбор данных в Интернет для атласа не может выполняться по одинаковому алгоритму. Каждый источник данных требует особых методов доступа: обращение и выборка из различных баз данных, обработка табличных и PDF-документов, получение данных с web-страниц, причем в каждом случае технические детали получения данных могут значительно отличаться.

Предложено различные способы решения этой проблемы:

- создание единого Банка геопространственных тематических данных [2];
- создание национальных и региональных инфраструктур пространственных данных (ИПД) [3, 4, 5];
- использование семантической паутины, включающей семантические сети и онтологии [6], и пригодной для машинной обработки данных.

Реализация любого из этих методов дала бы несомненно положительный результат.

Очевидно, что после создания единых ИПД и банков геоданных и практической реализации концепций семантических сетей можно будет в значительной степени упростить, формализовать и автоматизировать поиск и извлечение данных для целей создания электронных атласов. Но в настоящее время практически нет реализованных систем, собирающих и дающих доступ к единым базам гео- и статистических данных на национальных уровнях.

На практике же в большинстве случаев перечисленные подходы ограничиваются теоретическими исследованиями и разработкой рекомендаций. Основная помеха для их практической реализации – огромные трудозатраты на переработку данных, причем на этом этапе их отбором и обработкой должен заниматься человек, а не компьютер.

В качестве исключения можно привести, пожалуй, только систему Eurostat статистической службы Европейского союза ([www.ec.europa.eu/eurostat](http://www.ec.europa.eu/eurostat)), занимающуюся сбором статистической информации по странам-членам ЕС и гармонизацией статистических методов, используемых данными странами.

В данной статье предлагается метод решения задач сбора и предварительной обработки данных из разнородных источников для использования в БД электронного атласа с применением легко реализуемой на практике технологии программных агентов и мультиагентных систем.

**Описание технологии.** Технология базируется на использовании агентов для выполнения рутинных задач поиска и подготовки исходных данных и обновления и актуализации атрибутивной информации в разделах атласа.

Агент в данном случае - это программный объект (сущность), обладающий определенным искусственным интеллектом и автономно функционирующий для сбора данных из внешних источников. Для каждого источника данных создаются отдельные независимые агенты, которые «знают» о технических подробностях получения данных, таких как:

- язык или протокол обращения к базе данных,
- способ анализа веб-страницы и извлечение данных из нее с отсеиванием HTML-тегов,
- распознавание текста и таблиц в PDF-файле,
- использование подходящего архиватора,
- и т.п.

Агент может быть не только программной сущностью, но и программно-аппаратной – например, для получения и подготовки данных из бумажных источников (комплекс – сканер и соответствующее ПО для распознавания текста и таблиц, последующей предобработки).

Поскольку агенты-сборщики никаким анализом или обработкой полученных данных не занимаются и не обладают сведениями об общей структуре системы, их основная задача – получить актуальные данные из источника и передать их агенту соответствующей специализации для дальнейшей обработки. Для работы на следующих этапах создаются отдельные агенты (рис. 1):

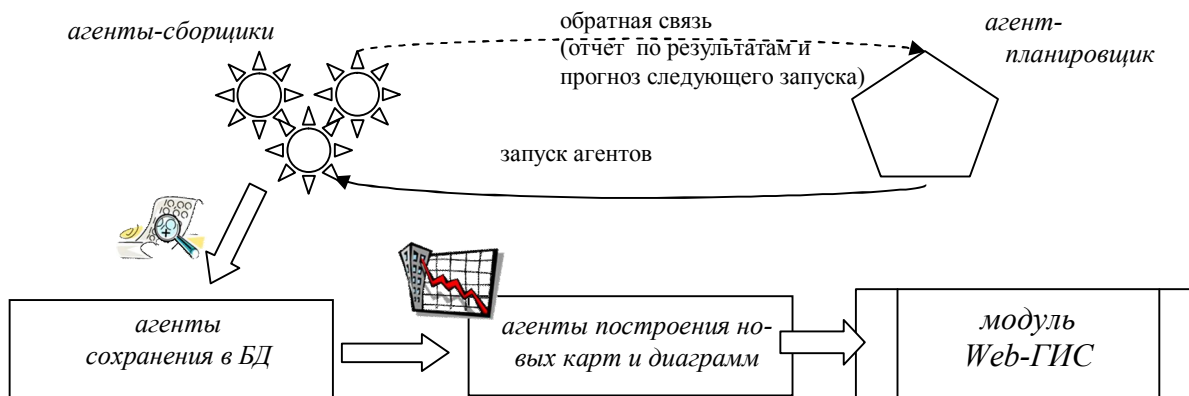


Рис. 1. Структура агентной системы сбора данных для электронного атласа

- агент для предварительной обработки данных,
- агент для сохранения данных в БД,
- агент для построения новых карт и диаграмм (интегрируется в геоинформационную систему),
- агент-планировщик для запуска сборщиков по варьируемому в зависимости от активности (частоты обновления) источника графику.

Агент-планировщик не определяет время следующего запуска агента самостоятельно. Вместо этого каждый агент сам рассчитывает время и передает

его планировщику. Алгоритм расчета периодичности позволяет оптимизировать нагрузку на источники данных и работает следующим образом: изначально для агентов задается периодичность по умолчанию (например, одна неделя); если после очередного запуска получены новые данные из источника, то время следующего запуска этого агента-сборщика будет уменьшено на несколько дней. Если же, наоборот, новые данные в источнике не найдены, период опроса увеличивается. Таким образом, после нескольких итераций, агент сам определяет частоту обновления данных для источника и выбирает оптимальный период повтора запросов, вплоть до режима непрерывного обновления или обновления раз в год/квартал и т.п. Планировщик все же должен учитывать нагрузку в системе и может откладывать запуск в зависимости от приоритета, установленного для различных агентов.

Рассмотрим подробнее разработку агентов-сборщиков. Как уже указано выше, они могут обращаться к хранилищам данных по разным протоколам. В случае работы с базами данных способы получения данных очевидны: использование соответствующего языка запросов или протокола работы с конкретной СУБД, на выходе - уже готовые к дальнейшей обработке табличные или иерархические данные.

В более общем случае обращение происходит к неструктурированным источникам, не имеющим специальных протоколов для выборки данных. К ним можно отнести веб-страницы. И именно они в настоящее время являются основным поставщиком данных для электронных атласов. Наибольший эффект от использования агентов для сбора данных проявляется именно при работе с данными в Веб.

Агенты-сборщики необходимо настраивать и обучать для каждого источника отдельно, благодаря чему в дальнейшем они позволяют получать данные в автоматическом режиме. Для автоматического анализа и разбора (*парсинга*) веб-страницы на практике можно выделить такие основные подходы:

- простой разбор документа с помощью анализа строк и регулярных выражений;
- использование объектной модели HTML-документа;
- преобразование HTML-документа в «правильно построенный» (well-formed) XML-документ и использование языка запросов XPath.

Наиболее удобным и универсальным, а в то же время наименее трудоемким, способом является парсинг веб-страниц с помощью запросов XPath. Ограничением этого способа является необходимость подачи на вход анализатора (парсера) XML-документа, соответствующего строгим стандартам структуры и оформления. Но стандарты языка HTML (особенно до появления версии XHTML 1.0 Strict) допускали достаточно свободную трактовку, поэтому не все HTML-документы удастся правильно и без потерь преобразовать в XML, что приводит к появлению различных ухищрений при составлении запросов XPath в процессе обучения агента.

**Заключение.** Предложенный в статье подход к проектированию агентно-ориентированных интерфейсов для ГИС, основанный на мультиагентных сис-

темах, позволяет автоматизировать процесс поиска атрибутивных данных, наполнение и обновление баз данных электронных атласов.

Такая технология не сможет сделать процесс обновления атласа полностью автоматическим, ведь первоначальным обучением агентов занимается эксперт-программист. Обучение состоит в указании правил (создании процедур и программ), по которым получают информацию из каждого источника. Но после обучения данные собираются автоматически с адаптивной подстройкой интервала следующей проверки, и на основе собранных данных проводится актуализация соответствующих разделов атласа. Это делает практически легко реализуемой подсистему сбора данных для электронных атласов.

В перспективе повышение эффективности описанной агентной системы возможно путём дополнительной автоматизации процесса поиска новых источников, в частности, путём анализа известных гипертекстов, выделения ключевых слов и поиска новых источников и сайтов, «похожих» на уже известные.

### Список литературы

1. Бусыгин Б.С. Создание электронного атласа устойчивого развития регионов Украины / Б.С. Бусыгин, А.В. Качанов, Л.В. Сарычева // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И.Вернадского. Том 18(57) №1 Серия "География", Симферополь, ТНУ, 2005. -С. 9-15.
2. Краюхин А.Н. Роль и место тематической картографии в системе государственных информационных ресурсов. А.Н.Краюхин // Тематическое картографирование для создания инфраструктур пространственных данных / Материалы IX научной конференции по тематической картографии (Иркутск, 9-12 ноября 2010 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2010. – В 2-х т. – Т. 1. – С. 5-7
3. Путренко В.В. Світовий досвід організації тематичної інформації у інфраструктурах геопросторових даних / В.В.Путренко // Розвиток тематичної складової інфраструктури геопросторових даних в Україні: Зб. наук. праць. – К., 2011. – С. 133-138
4. Бешенцев А.Н. Картографирование инфраструктур пространственных данных. / А.Н. Бешенцев // Тематическое картографирование для создания инфраструктур пространственных данных / Материалы IX научной конференции по тематической картографии (Иркутск, 9-12 ноября 2010 г.). – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2010. – В 2-х т. – Т. 1. – С. 25-28
5. Карпінський Ю.О. Від інфраструктури картографічного виробництва до інфраструктури геопросторових даних / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко // Розвиток тематичної складової інфраструктури геопросторових даних в Україні: Зб. наук. праць, Інститут географії НАН України, - К., 2011, - С. 39-61.
6. Grobelny P. Results of research on method for intelligent composing thematic maps in the field of Web GIS. / P.Grobelny, A.Pieczynski //Lecture Notes in Artificial Intelligence: Computational Collective Intelligence, Technologies and Applications, LNAI 6922, pp. 264—274. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В  
Надійшла до редакції 26.02.2013*

## СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ПРОГНОЗНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ АДЕКВАТНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ГЕОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

Наведено теоретичні основи комп'ютерної технології прогнозування локалізації геологічних об'єктів за комплексом геолого-геофізичних і космічних даних. Основу технології складають процеси формування інтегральних прогнозних моделей, що поєднують матеріали наземних і дистанційних зйомок, і їх застосування для одержання прогнозів з використанням методів Data Mining.

Приведены теоретические основы компьютерной технологии прогнозирования локализации геологических объектов по комплексу геолого-геофизических и космических данных. Основу технологии составляют процессы формирования интегральных прогнозных моделей, объединяющих материалы наземных и дистанционных съемок, и их применения для получения прогнозов с использованием методов Data Mining.

The theoretical basics of computer technology for prediction of geological objects localization from a set of geological, geophysical and satellite data is presented. The technology is based processes of integrated predictive models forming that combine data of ground-based observations and remote surveys, and their application for prediction tasks using Data Mining methods.

**Стан проблеми.** Теорія та практика автоматизованого прогнозування локалізації геологічних об'єктів, що пережили фазу бурхливого розвитку в 70–90 роках пришлого століття, в наш час перебувають у стані, який можна визначити як стагнація. Постійний ріст об'ємів геоданих, що добуваються, у першу чергу, космічних, не супроводжується настільки ж швидким розвитком методів спільної обробки й аналізу величезних масивів інформації. Як наслідок, фахівці-геологи зіштовхуються з низкою технологічних, методологічних і теоретичних труднощів, що обумовлює підвищення складності й зниження ефективності сумісної обробки й аналізу величезних об'ємів різнорідних і різнорівневих даних. У результаті практичне використання потенційно корисних матеріалів найчастіше обмежується їх якісним візуальним аналізом.

До теперішнього часу відсутня єдина точка зору на ключові методологічні питання комп'ютерного прогнозування – вибору підходів до побудови вирішальних правил і інформативних систем ознак, оцінці інформативності і якості прогнозів і ін. Існує явний дисбаланс між рівнями розвитку математичного й методологічного апаратів комп'ютерного прогнозування в науках про Землю. Кількість методів і алгоритмів, що вирішують окремі задачі, обчислюється тисячами, але створених на їхній базі цільних, завершених методик, доведених до стадії технології, надзвичайно мало. При цьому більшість із технологічних схем, що рекомендуються, складаються з етапів, які мають настільки загальний і абстрактних характер, що застосування їх на практиці вкрай утруднено.

Практично відсутні сучасні спеціалізовані технології і системи автоматизованого прогнозування. Як наслідок, виробничі організації найчастіше використовують універсальний інструментарій прогнозування, реалізований у таких

системах, як ERDAS, ArcGIS і т.п. і слабо адаптований до рішення реальних прогнозних геологічних задач.

Крім того, практичне застосування існуючої теоретичної бази автоматичної прогнозування локалізації об'єктів на засадах апарату класифікації стримується низкою принципових, специфічних для геологічної галузі труднощів, серед яких: малі обсяги еталонних вибірок; невисокий ступінь подібності об'єктів, що вважаються однотипними; наявність величезної кількості перешкод у даних дистанційних методів та їх досить низька інформативність та інші.

**Мета роботи.** Для подолання зазначених труднощів запропонована спеціалізована геоінформаційна технологія [1] рішення прогнозно-пошукових геологічних завдань, що базується на інтеграції, з одного боку, різномірних і різновисотних геоданих – матеріалів майданних геофізичних, геохімічних, аерокосмічних, топографічних зйомок, картографічних джерел, цифрових геологічних моделей і ін., та, з іншого боку, моделей та методів геоінформатики та Data Mining (інакше – інтелектуального аналізу даних) [2, 3]. Процес прогнозування в рамках технології зводиться до побудови т.зв. інтегральних прогнозних моделей (ІПМ) та отримання на їх основі прогнозів методами Data Mining.

Для побудови ІПМ розроблено низку методик та практичних прийомів, які мають на меті підвищення адекватності прогнозів, що отримуються. Робота присвячена викладенню теоретичних основ побудови та використання ІПМ [4].

### **Основні відомості про ІПМ**

В основі технології автоматизованого прогнозування лежать:

- інтегральна прогнозна модель (ІПМ) на основі описових і прогнозних моделей Data Mining;
- методика формування ІПМ, що має на меті максимальне узгодження її складових елементів для одержання геологічно змістовних прогнозів;
- методи інтелектуального аналізу різномірних та різномірних геоданих для одержання нових знань на основі ІПМ.

Інтегральна прогнозна модель поєднує:

- математичні, геоіконічні та геологічні моделі;
- матеріали різномірних та різномірних космічних та наземних зйомок;
- описові і прогнозні моделі Data Mining;
- різноманітні процедури обробки й аналізу даних.

При формуванні ІПМ переслідуються цілі мінімізації неузгодженості геоданих і геологічних фактів. Під **неузгодженістю** розуміється нездатність даних непрямих і дистанційних методів вивчення Землі адекватно описувати геологічне середовище. Вона є наслідком недостатньої інформативності, глибинності й роздільної здатності окремих геофізичних і аерокосмічних методів, адитивності потенційних геофізичних полів, наявності різноманітних шумових компонентів негеологічного походження й т.п. На практиці неузгодженість веде до внутрішньої суперечливості прогнозних моделей і відчутно знижує надійність одержуваних рішень. Вплив неузгодженості на практиці звичайно неможливо усунути повністю, але можна зменшити із застосуванням спеціальних прийомів. Мінімізація неузгодженості дозволяє суттєво підвищити вірогідність й змістов-

ність результатів рішення прогнозно-пошукових задач, зокрема, автоматизованого прогнозування локалізації геологічних об'єктів та явищ.

ІПМ являє собою сукупність взаємодіючих описових (*ОМ1*, *ОМ2* и *ОМ3*) й прогнозної моделі (*ІПМ*), які складаються з базових модельних елементів (рис. 1), серед яких:

- такі, що формалізують геологічні факти й гіпотези:
  - моделі природно-геологічного поділу (*ІПП*);
  - цифрові геологічні модель 1-го (*ЦГМ1*) та 2-го (*ЦГМ2*) типів;
- геодані: двовимірні характеристики геологічного середовища, що формують багатомірний ознаковий простір (*ОП*);
- частини *ІПМ*, що підлягають оптимізації:
  - навчальні (*НВ*) та контрольні (*КВ*) вибірки;
  - поділяючі (*ПН*) та діагностуючі (*ДН*) набори ознак;
  - вирішальні правила (*ВП*);
- прогнози: двовимірні карти, що відбивають перспективність територій на виявлення певних геологічних об'єктів;
- критерії оптимальності і якості:
  - критерії геологічної змістовності (*ІГЗ*) і формальної інформативності (*ІФІ*) окремих ознак; критерії геологічної змістовності (*ГГЗ*), а також формальної інформативності (*ФІ*) систем (груп, наборів) ознак; критерії геологічної змістовності (*ГЗ*), формальної точності (*ФТ*) і надійності прогнозів.

Такі елементи прогнозних моделей як *ОВ*, *НВ*, *ДН*, *ВП*, *ОП*, *ФІ*, *ІФІ* та *ФТ* є типовими для прогнозуючих моделей та систем, то використання *ІПП*, *ЦГМ1*, *ЦГМ2*, *ІГЗ*, *ПН* є характерною відмінністю *ІПМ*. Нижче дана стисла характеристика основних елементів.

*ІПП* формалізує знання про відомі об'єкти прогнозованого типу (наприклад, вуглеводневі поклади, золоторудні об'єкти) і задає їхній поділ на класи (типи) відповідно до деякої класифікації, що відбиває об'єктивно існуючі й істотні для рішення поставленої задачі риси об'єктів (наприклад, поділ вуглеводневих покладів на нафтові, газові, газоконденсатні; або на пов'язані зі структурними й неструктурними пастками й т.п.). Модель *ІПП* є сукупністю об'єктів (осередків мережі), розділених експертом-геологом на *N* класів  $K_1, K_2, \dots, K_N$  відповідно до геологічних фактів або гіпотез. Також модель *ІПП* містить клас *K'* «порожніх» об'єктів, що завідомо не є цільовими.

*ЦГМ1* і *ЦГМ2*, створювані фахівцем-геологом, формалізують площинну інформацію про геологічне середовище. Різниця між *ЦГМ1* і *ЦГМ2* – у повноті й масштабності інформації, що містяться в них. Якщо *ЦГМ2* узагальнює всі наявні достовірні геологічні знання про геологічне середовище, то *ЦГМ1* є похідною дрібномасштабних геологічних карт і містить відомості про геологічні структури низьких рангів. Масштаб карт, покладених в основу *ЦГМ1*, вибирається таким чином, щоб територія була розділена на 3–10 частин, що відповідають різним геологічним утворенням (літологічним різницям, стратиграфічним одиницям і т.п.). При необхідності, *ЦГМ1* може бути побудована шляхом генералізації *ЦГМ2*



**ОП** є сукупністю **ознак** – геоданих, організованих у сіткові шари. Значення ознак задані в комірках регулярної мережі, що покриває досліджувану територію. Розрізняються вхідні ознаки, отримані в результаті первинної обробки натурних зйомок (фізичні поля, геохімічні ореоли, КЗ й т.п.) і їхні трансформанти, отримані шляхом математичних перетворень вхідних ознак. Окремі класи становлять ознаки-характеристики геологічної будови, лінеаментних мереж і границь яскравості **геозображень** – геоданих, представлених графічно в растровій або сітковій формах.

**Еталонні вибірки**, що поділяються на **НВ** та **КВ**, формалізують інформацію про розташування відомих об'єктів розшукуваного типу (далі – **цільових об'єктів**) й формуються шляхом апроксимації комірками регулярної мережі проєкцій їхніх контурів на горизонтальну площину. Додатково використовуються еталонні вибірки, що містять об'єкти, які свідомо не належать до цільових (т.зв. нецільові або «порожні»). Структура й состав НВ і КВ визначаються в процесі формуванні ПМ.

**Критерії індивідуальної і групової ГЗ** служать для оцінки здатності ознак та їхніх наборів відбивати об'єктивно існуючу геологічну будову досліджуваної ділянки. ГЗ кількісно характеризує здатність групи ознак відбивати найбільш загальні риси геологічної будови, формалізовані в ЦГМ1.

ГЗ є певним чином розрахована міра подібності ознаки з ЦГМ2. Шляхом застосування процедури растеризації ЦГМ2 переводиться у форму бінарної карти, де одиницям відповідають стратиграфічні й літологічні границі, контури інтрузивних утворень, лінійні розривні порушення й т.п. Оцінювана ознака шляхом застосування методу Кенні [5] для виділення границь яскравості також переводиться в бінарну форму. Далі аналізується конфігурація малюнка кожної з карт із використанням ковзної околиці розміром 3x3 комірки. Для кожної карти будується гістограма частоти зустрічальності кожного з 255 можливих варіантів сполучення 0 і 1, після чого гістограми порівнюються у будь-який відомий спосіб (обчислення  $\chi$ -квадрата, площі перетинання гістограм, відстані Бхаттачарія, кореляційним методом й т.п.). Отримані значення є оцінками міри подібності ознаки й ЦГМ2.

**Критерії ФІ** використовуються для оцінки здатності ознаки або групи ознак забезпечувати формальне рішення задачі класифікації з мінімальними втратами. ФІ оцінюється шляхом обчислення оцінки апіорної байєсовської ймовірності помилки класифікації (**ЙПК**) або подібних їй оцінок, в залежності від методу побудови ВП.

В якості **критеріїв ФТ** використовується група апостеріорних показників, заснованих на оцінці відповідності прогнозів наявним фактичним даним про цільові об'єкти. **ГЗ прогнозу** обчислюється подібно ГЗ ознак.

**Поділяючий набір (ПН)** – інформативна сукупність ознак, що забезпечують поділ об'єктів НВ у багатомірному просторі, оптимальний з погляду його близькості до ПП. Поділяючий набір будується при формуванні ОМ1. Його використання сприяє одержанню прогнозів, максимально погоджених з фактичною геологічною інформацією про цільові об'єкти.

**Діагностуючий набір (ДН)** – сукупність ознак, для якої досягається оптимальне з погляду ФІ й ГЗ рішення задачі класифікації з навчанням.

Формування ДН та НВ, за своєю суттю, зводиться до пошуку зв'язків між відомими цільовими об'єктами і геоданими, що їх описують. На основі виявлених зв'язків і сформульованих закономірностей може бути виконаний прогноз локалізації раніше невідомих об'єктів. Технологія припускає можливість виконання прогнозу на основі закономірностей, знайдених і іншими методами Data Mining – секвенційного аналізу, пошуку асоціації [2, 3] й т.п., однак метод класифікації є найбільш універсальним.

Знайдені закономірності формалізуються у вигляді вирішальних правил, що дозволяють оцінити приналежність об'єктів класифікації до одного або декількох заздалегідь визначених класів або визначити ступінь приналежності об'єкта до певного класу.

Перераховані базові елементи й зв'язки між ними формують більші частини ІПМ – ОМ1, ОМ2, ОМ3 і ПМ (рис. 1).

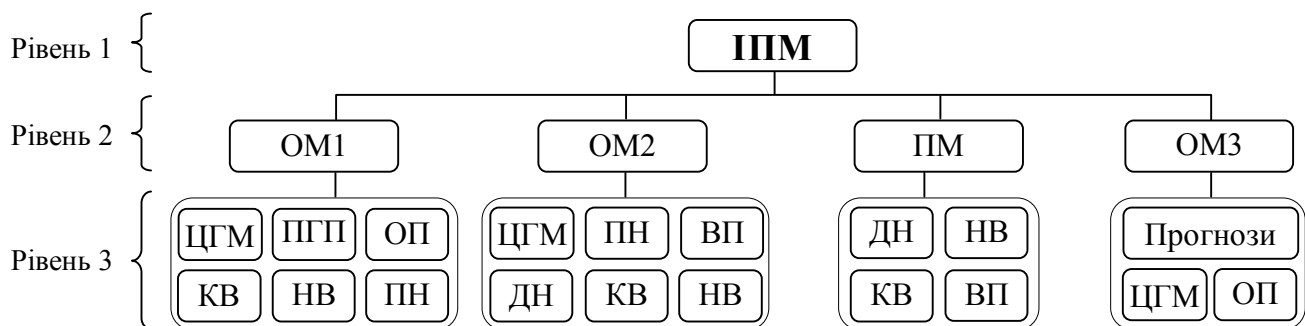


Рис. 1. Структура ІПМ

**Методика формування ІПМ.** Формування ІПМ зводиться до послідовного формування моделей ОМ1, ОМ2, ПМ та ОМ3.

Основна мета **побудови ОМ1** – забезпечення відповідності геоданих і фактичної геологічної інформації про відомі цільові об'єкти. Також за результатами побудови ОМ досягаються і інші цілі:

- створення ознакового простору, що забезпечує геологічно змістовний поділ НВ на підвибірки  $K_1, K_2, \dots, K_N$ ;
- кількісна оцінка придатності наявного ОП для рішення задач класифікації з необхідною погрішністю;
- формування контрольної вибірки й ряд інших задач.

Ключовим етапом створення ОМ1 є побудова поділяючого набору ознак (ПН). Для цього серед ОП (сукупності вхідних геоданих та їх трансформант) знаходиться набір ознак, який забезпечує кластеризацію об'єктів, максимально близьку до ПГП. Процедура виконується будь-яким з відомих методів пошуку оптимальних систем ознак (послідовного приєднання, послідовного відкидання, випадкового пошуку, випадковий пошук з адаптацією, приєднання з відкиданням, метод гілок і границь [6] і т.п.). Для цього організується ітераційний процес, і на кожному його кроці шукається набір, що мінімізує запропонований

показник ГЗ групи ознак:  $QI = \frac{D_{BK}}{D_{MK}}$ ;  $D_{BK} = \frac{\sum_i^n \sum_j^n d_E(x_i, x_j)}{2M}$ ;  $D_{MK} = \frac{\sum_i^n \sum_j^n d_{mean}}{2N}$ , де  $D_{BK}$

– середня внутрішньокластерна відстань для  $N$  класів моделі ПГП;  $D_{MK}$  – середня міжкластерна відстань;  $x$  – об'єкт вибірки;  $M$  – кількість об'єктів;  $d_E$  – евклідова відстань;  $d_{mean}$  – середнє значення попарних відстаней між об'єктами різних класів. Розрахунок  $D_{BK}$  і  $D_{MK}$  виконується для об'єктів моделі ПГП у наявному ОП, за умови, що приналежність до кластерів задана ПГП.

Слід зазначити, що підхід з обчисленням  $QI$  дозволяє оцінювати можливість поділу об'єктів на кластери без проведення кластеризації. Це вимагає значно менших обчислювальних витрат.

Далі виконується кластеризація в просторі знайденого ПН. Кількість кластерів має бути рівною або близькою до кількості класів ПГП. Оцінюється розходження між отриманою кластеризацією й ПГП, яке характеризує придатність наявного ОП для досягнення класифікації, що мінімально суперечить геологічним фактам щодо цільових об'єктів. Якщо отримане значення розходження не задовольняє, розраховуються додаткові ознаки і процес повторюється.

За результатами кластеризації або багатомірного шкалювання в знайденому ОП виконується: а) перерозподіл об'єктів між вибірками  $K_1, K_2, \dots, K_N$  з метою підвищення компактності останніх; б) видалення з НВ об'єктів, віддалених від центрів всіх кластерів або таких, що попадають у різні кластери при використанні різних методів поділу. Вилучені об'єкти переводяться в КВ. У такий спосіб досягаються дві мети: 1) зниження апріорної ймовірності помилкової класифікації (ЙПК); 2) забезпечення контролю ФТ прогнозів.

Якщо на етапі формування ОМ1 упор робиться на вивчення цільових об'єктів, то при створенні ОМ2 – на їхні взаємини із вміщуючим середовищем. Побудова ОМ2 дозволяє відповісти на запитання – чи можливо зробити відділення об'єктів навчальних вибірок кожного з класів від «порожнього» вміщуючого середовища?

Крім того, в процесі створення ОМ2 досягаються наступні проміжні цілі: 1) оптимізація складу і структури НВ класів; 2) кількісна оцінка здатності ОП відбивати загальні риси геологічної будови території; 3) розширення КВ.

**Побудова ОМ2.** Якщо ставиться задача одержання категорійної класифікації (тобто завдання поділу генеральної сукупності на кілька взаємовиключних класів), то описаний нижче процес виконується один раз, одночасно для  $N+1$  НВ. Якщо стоїть завдання одержання «нечіткої» класифікації, що припускає можливість приналежності об'єкта відразу декільком класам, і полягає в обчисленні деякій кількісній мірі приналежності об'єкта до класів  $K_1, \dots, K_N$  (інакше – задача ранжирування), то процес виконується  $N$  разів, для кожної пари НВ.

Серед ознак, що входять до ПН, виконується пошук ДН. Він повинен забезпечувати не тільки прийнятну ФІ, але й ГЗ одержуваних рішень. Для цього знаходиться система ознак, при якій досягається мінімум функціонала  $f(\text{ЙПК}, Q2)$ , де  $\text{ЙПК}$  – ймовірність помилки класифікації при використанні деякого набору ознак і обраного метода побудови ВП класифікації;  $Q2$  – параметр, що характеризує ГЗ системи.

Для визначення ЙПК використовується будь-який з розроблених критеріїв оцінки байесовської ЙПК (наприклад, на основі відстані Фішера, Бхаттачарія, Колмогорова, дивергенції Кульбака або евристичних показників [6] та ін.).

$Q2$  обчислюється в такий спосіб [7]. Нехай даний деякий фіксований набір з  $P$  сіткових ознак  $X^{(P)}$  і ЦГМ1. Коміркам ЦГМ1 приписані вірогідно відомі значення деякого геологічного атрибуту (вік порід, назва літологічної відмінності або інше). Будемо умовно розглядати кожен сукупність комірок ЦГМ1 з однаковим значенням атрибуту, як окремий кластер  $C_i, i=1..N$ , де  $N$  – кількість унікальних значень атрибуту. Нехай приналежність об'єктів генеральної сукупності кластерам задається значеннями відповідних комірок ЦГМ1. У цьому випадку  $Q2$  може бути розрахований аналогічно  $Q1$ , як  $Q2 = D_{вк}/D_{мк}$ , але не для об'єктів НВ, а для всіх об'єктів-комірок сітки.

$Q2$  є мірою компактності розташування об'єктів з однаковим значенням атрибуту в багатомірному ОП і, фактично, характеризує здатність набору ознак відбивати найбільш загальні риси геологічної будови території. Чим нижче значення  $Q2$ , тим більше геологічно змістовним є набір ознак.

Побудова ДН виконується одним з відомих методів (послідовного приєднання, послідовного відкидання, випадкового пошуку, випадковий пошук з адаптацією, приєднання з відкиданням, «гілок і границь» і т.п.); на кожній ітерації вирішується задача багатокритеріальної оптимізації, що полягає в пошуку сукупності ознак, для якої досягається мінімум функціонала  $f(\text{ЙПК}, Q2)$ . Практично задача вирішується, наприклад, за допомогою вибору рішення з множини парето-оптимальних (таких, що їх не домінують) альтернатив.

Фактично, оптимізація *ЙПК* забезпечує відповідність результатів класифікації наявним відомостям про цільові об'єкти,  $Q2$  – геологічним фактам про геологічне середовище в цілому. Знайдений ДН дозволяє досягти прийнятної з точки зору ФТ поділу об'єктів різних класів у багатомірному просторі при збереженні його ГЗ (відповідності ЦГМ1).

Далі у просторі знайденого ДН виконується аналіз і корекція відповідних НВ; основна увага на цьому етапі приділяється виявленню й відкиданню (або переміщенню до КВ) об'єктів, що попадають у області, зайняті переважно об'єктами інших класів.

Весь процес пошуку ДН виконується ітераційно, доки на черговій ітерації структура й склад НВ не перестане змінюватися, що свідче про максимально можливе узгодження ДН і НВ, що, в свою чергу, є запорукою отримання адекватних прогнозів.

**Прогнозна модель** використовується для отримання прогнозів і включає: а) НВ класів і відповідні їм ДН; ВП класифікації; критерії оцінки ФТ, ГЗ і надійності прогнозів, КВ та ЦГМ2.

Найбільш універсальним методом прогнозування в геології є класифікація з навчанням (інакше – контрольована класифікація або із вчителем), коли ВП формуються на підставі аналізу вже класифікованих об'єктів, згрупованих у НВ. Це дозволяє встановити статистичні, логічні або детерміновані зв'язки між геологічним середовищем і даними, що його описують, і використовувати їх

для класифікації. Формування НВ і ДН у рамках побудови ОМ1 і ОМ2 по своїй суті представляє процес пошуку цих зв'язків.

Існує дві основні постановки задачі класифікації з навчанням:

- обчислити кількісну міру приналежності об'єкта до одному з декількох класів, що дозволяє здійснити т.зв. *нечіткий* прогноз.

- визначити клас, для якого міра приналежності об'єкту, що класифікується, найвища; така постановка задачі дозволяє одержати *категорійний* прогноз.

Задача в першій постановці інакше зветься *ранжируванням*, у другий – *розпізнаванням*.

Також ВП можуть створюватися без використання еталонів, на основі виявлених просторових або інших закономірностей, що виявляються методами секвенційного аналізу або пошуку асоціацій.

**ОМ3** використовується для виявлення різноманітних зворотних зв'язків та закономірностей між прогнозами, ознаками та цільовими об'єктами та їх інтерпретації з метою формування науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень щодо подальших геологічних досліджень або гірничих робіт.

### **Прогнозування локалізації геологічних об'єктів на основі ІПМ.**

Прогнозування можна трактувати як процес інтелектуального аналізу геоданих, що включає:

- а) пошук серед значень ознак стійких, геологічно змістовних зв'язків, властивих тільки об'єктам конкретного класу й не характерних для об'єктів інших;

- б) перетворення знайдених зв'язків у форму ВП класифікації;

- в) застосування вирішальних правил для оцінки значень прогнозованого параметра або приналежності об'єктів до класів.

Для кожного набору даних може бути виділена безліч зв'язків, що визначає можливість одержання безлічі альтернативних прогнозів.

Практично будь-яка виявлена в даних закономірність може бути основою для прогнозу. У багатьох ситуаціях справедливо й зворотне – прогноз може бути використаний для пошуку нових закономірностей.

Прогноз, у загальному значенні, є результатом визначення невідомої характеристики (інакше називаної *залежною змінною*) об'єкта (або явища, процесу, події) на основі сукупності відомих характеристик (*незалежних змінних*). Прогнозування виконується у два етапи: на 1-му, використовуючи набори даних з відомими значеннями залежної змінної або виявлені раніше закономірності, будується прогнозна модель; на 2-му вона використовується для передбачення невідомих значень залежної змінної.

Виділення різноманітних зв'язків у більших об'ємах геоданих виконується за допомогою наведених нижче методів інтелектуального аналізу геоданих.

**Секвенційний аналіз.** Методи секвенційного аналізу є частиною апарата Data Mining і були розроблені, у першу чергу, для цілей маркетингових досліджень. Основна мета їхнього застосування – виявлення стійких послідовностей виникнення деяких подій (у термінах Data Mining – транзакцій), що утворюють ланцюжки. На основі останніх формулюються закономірності, що мають імовірнісний характер і дозволяють передбачати виникнення подій у майбутньому.

В контексті просторових прогнозно-пошукових геологічних задач закономірності, що виявляються методами секвенційного аналізу, можуть формулюватися в такий спосіб:

- на відстані  $d_1..d_2$  від об'єкта  $X$  в  $m$  випадках з  $M$  перебуває об'єкт  $Y$  (наприклад, в 5-ти випадках з 10-ти на відстані 300–500 м від вузла перетинання розламів перебуває золоторудне тіло);

- однотипні об'єкти  $X_1, X_2, \dots, X_L$  в  $m$  випадках з  $M$  перебувають на відстані  $d_1..d_2$  друг від друга (наприклад, кварцові жили північно-східного азимута простягання в 8 випадках з 12 знаходяться на відстані 150–200 м одна від одної).

Можливе знаходження й більше складних просторових закономірностей, що враховують ієрархічну структуру геологічної будови земної кори (наприклад, виявлення періодичності чередування односпрямованих лінійних структур різних рангів).

Частковим випадком секвенційного аналізу є *аналіз асоціацій* (інакше – пошук асоціацій), заснований на виявленні стійких пар або груп одночасно виникаючих подій, або, у контексті прогнозно-пошукових робіт, просторово співпадаючих структур та об'єктів. Фактично, завдання пошуку асоціацій зводиться до завдання секвенційного аналізу при  $d_1=d_2=0$ . Технологія використовує ряд алгоритмів, заснованих на переборі, що дозволяють знаходити асоціації між значеннями пар або систем ознак, а також між значеннями ознак і геологічних об'єктів. Крім того, що виявлені в результаті застосування апаратів секвенційного аналізу й пошуку асоціацій закономірності можуть мати самостійне наукове й практичне значення, можливо їхнє використання як ВП для виконання прогнозу.

**Кластеризація** заснована на виявленні певної спільності властивостей у різних об'єктів, що дозволяє групувати об'єкти в деякі підмножини – кластери – в умовах відсутності навчальних вибірок. У рамках представленої технології процедури автоматичної кластеризації використовують як у якості допоміжних (для поділу НВ на підкласи й уточнення їхньої структури), так і при вирішенні інших завдань, наприклад, районування досліджуваної території за комплексом геоданих.

**Класифікація з навчанням** є найбільш універсальним методом автоматизованого прогнозування. Виконується на основі ПМ, та дозволяє створити цифрові сіткові карти, що відбивають приналежність об'єктів генеральної сукупності (комірок сітки) класам або ступінь приналежності об'єктів одному із класів. В геологічній практиці саме другий підхід представляється більш гнучким та ефективним; для його реалізації будуються ДН для пар НВ класів  $K_i-K'$ ,  $i=1..N$  як описано вище.

Можливість застосування різних вирішальних правил порушує питання вибору найкращого або узгодження (синтезу) декількох прогнозів для одержання єдиного рішення шляхом зведення ансамблю альтернативних прогнозів до одного, узагальненого, при мінімальній втраті інформації. Дане завдання може бути вирішене шляхом ортогоналізації ансамблю з використанням методу головних компонентів. В якості результуючого прогнозу виступає перша головна компонента, що максимізує вибірккову дисперсію уздовж першої координати. Внесок у дисперсію першої компоненти є також однією з мір надійності, усталеності прогнозу.

**Висновки.** Технологія прогнозування, що базується на побудові та використанні ІПМ, була випробувана на низці рудних та нафтогазових родовищ, що знаходяться у різних геологічних умовах. Одержані результати дали змогу сформулювати наступні висновки:

▪ запропоновані методи побудови ПН та ДН дозволяють знизити неузгодженість між окремими елементами ІПМ, що, як свідчать обчислювальні експерименти, дозволяє знизити помилку класифікації на 5–25%.

▪ запропонована технологія прогнозування дозволяє більш повно використовувати наявну геологічну інформацію, забезпечуючи її інтеграцію до моделей та методів Data Mining;

▪ використання оцінок геологічної змістовності окремих ознак та їх груп є особливо корисним в умовах малих обсягів НВ, дозволяючи знизити ризик одержання геологічно беззмістовних (але формально точних) прогнозів;

▪ формування й використання інтегральних прогнозних моделей (ІПМ), що засновані на описових і прогнозних моделях Data Mining, та поєднують математичні, геоіконічні і геологічні моделі, різномірні дистанційні геодані і геологічні факти, та критерії їхньої взаємної узгодженості, дозволяє отримувати більш вірогідні та адекватні прогнози.

#### Список літератури

1. Пивняк Г.Г. ГИС-технология интегрированного анализа разнородных и разноуровневых геоданных / Г.Г.Пивняк, Б.С.Бусыгин, С.Л. Никулин // Доп. НАН України. – 2007. – №6. – С.121–128.
2. Kantardzic M. Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms / M.Kantardzic. – John Wiley & Sons. – 2003. – 343 P.
3. Матвейкин В.Г. Информационные системы интеллектуального анализа / В.Г.Матвейкин, Б.С.Дмитриевский, Н.Р.Ляпин – М.: Машиностроение, 2008. – 92 с.
4. Бусыгин Б.С. Формирование интегральных прогнозных моделей при решении геологически задач / Б.С.Бусыгин, С.Л.Никулин // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції ІТММ-2013. – Дніпропетровськ. – С. 77–79.
5. Canny J. A computational approach to edge detection/ Canny J. // IEEE Trans. PAMI. – 1986. – V. 8. – P. 34–43.
6. Бусыгин Б.С. Распознавание образов при геолого-геофизическом прогнозировании. / Б.С.Бусыгин, Л.В.Мирошниченко. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ. –1991. –168 с.
7. Нікулін С.Л. Використання критерію геологічної змістовності при побудові інформативних систем ознак в задачах геологічного прогнозу / С.Л. Нікулін, Г.С. Підгорна // Тези доповідей СНКПМІ-2013. – Львів. – 2013. с 63–64.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 25.02.2013*

## ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ПЛАСТИН С ОТВЕРСТИЯМИ

В статье приведены точные решения, полученные в замкнутой форме для четырех задач о напряженно-деформируемом состоянии ортотропной пластины с цилиндрической анизотропией.

У статті наведені точні розв'язки, що отримані у замкненій формі для чотирьох задач про напружено-деформований стан ортотропної пластини з циліндричною анізотропією.

The exact decisions received in the closed form for four tasks about an intense-deformable condition of an orthotropic plate with cylindrical anisotropy are resulted in the article.

Решения краевых задач с учетом анизотропии упругой среды сопряжено с дополнительными трудностями. В случае прямолинейной анизотропии приходится рассматривать пару связанных аналитических функций, зависящих от различных комплексных переменных [1]. Для среды с криволинейной анизотропией непосредственное применение методов теории аналитических функций вообще оказывается невозможным.

Эти трудности удастся преодолеть в некоторых специальных случаях (малая анизотропия, специальный закон изменения упругих свойств и т. п.), причем соответствующая задача для изотропной среды считается обычно эталоном простоты. В задачах 3 и 4 решения получены с помощью методов возмущения [2].

Преимущество предложенного подхода состоит в том, что исходная задача сводится к последовательному решению задач теории потенциала, учитывается любая степень анизотропии материала.

1. Рассматривается пластина, ослабленная круговым отверстием радиуса  $R$ , со свободной границей либо с жестким подкреплением и подвергается осевому растяжению на бесконечности усилиями интенсивности  $p_1$  и  $p_2$ . Уравнения равновесия в полярных координатах удовлетворяются, если ввести функцию напряжений  $F(r, \theta)$ :

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \theta^2}; \sigma_\theta = \frac{\partial^2 F}{\partial r^2}; \tau_{r\theta} = -\frac{\partial^2}{\partial r \partial \theta} \left( \frac{F}{r} \right).$$

Дифференциальное уравнение, которому удовлетворяет функция напряжений, для пластины с цилиндрической ортотропией, записывается в виде [1]:

$$\frac{\partial^4 F}{\partial \xi^4} - 4 \frac{\partial^3 F}{\partial \xi^3} + 5 \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} - 2 \frac{\partial F}{\partial \xi} + a \frac{\partial^4 F}{\partial \xi^2 \partial \eta^2} - 2a \frac{\partial^3 F}{\partial \xi \partial \eta^2} + q \frac{\partial^4 F}{\partial \eta^4} - q \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} + 2q \frac{\partial F}{\partial \xi} + a \frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2} + 2q \frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2} = 0, \quad a = q\varepsilon^{-1} (1 - \nu_1^2 q - 2\nu_1 \varepsilon);$$

$$\sigma_{11} = e^{-2\xi} \frac{\partial F}{\partial \xi} + e^{-2\xi} \frac{\partial^2 F}{\partial \eta^2}, \quad \sigma_{22} = e^{-2\xi} \frac{\partial^2 F}{\partial \xi^2} + e^{-2\xi} \frac{\partial F}{\partial \xi},$$



$$\tau = - \left( e^{-2\xi} \frac{\partial^2 F}{\partial \xi \partial \eta} + e^{-2\xi} \frac{\partial F}{\partial \eta} \right), \quad (\sigma_{11} = \sigma_r, \sigma_{22} = \sigma_\theta, \tau_{r\theta} = \tau) \quad (1)$$

Здесь

$$q = \frac{E_\theta}{E_r}, \quad \varepsilon = \frac{G_{r\theta}}{E_r/(1-\nu_1\nu_2)}, \quad \nu_1 = \nu_r, \quad \nu_2 = \nu_1 q, \quad r = R \cdot e^\xi, \quad \xi = \ln \left( \frac{r}{R} \right), \quad \theta = \eta.$$

В сплошной пластине без отверстия:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^0 &= \frac{p_1 + p_2}{2} + \frac{p_1 - p_2}{2} \cos 2\eta; \quad \sigma_{22}^0 = \frac{p_1 + p_2}{2} - \frac{p_1 - p_2}{2} \cos 2\eta; \\ \tau^0 &= -\frac{p_1 - p_2}{2} \sin 2\eta. \end{aligned} \quad (2)$$

Образование отверстия в пластине равносильно приложению к точкам вообразаемого контура напряжений  $\sigma_{11} = -\sigma_{11}^0$ ,  $\tau = -\tau_0$ . Действие нормальных и касательных напряжений приводит к возникновению второго поля напряжений. Полное решение задачи с отверстием состоит из суммы решения (2) и указанного второго поля напряжений. Для определения второго поля напряжений необходимо рассмотреть задачу, когда контур отверстия ( $\xi = 0$ ) нагружен нормальными и касательными напряжениями, на бесконечности напряжения равны нулю, т.е. граничные условия имеют вид:

$$\begin{aligned} \text{при } \xi = 0 \quad \sigma_{11} &= -\frac{p_1 + p_2}{2} - \frac{p_1 - p_2}{2} \cos 2\eta, \quad \tau = \frac{p_1 - p_2}{2} \sin 2\eta, \\ \text{при } \xi \rightarrow \infty \quad \sigma_{11} &\rightarrow 0, \quad \tau \rightarrow 0 \end{aligned} \quad (3)$$

Граничные условия (3) могут быть разбиты на две части:

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^{(1)} &= -\frac{p_1 + p_2}{2}, \quad \tau = 0 \quad (\text{часть, которая не зависит от координаты } \eta) \\ \sigma_{11}^{(2)} &= -\frac{p_1 - p_2}{2} \cos 2\eta, \quad \tau = \frac{p_1 - p_2}{2} \sin 2\eta \quad (\text{зависит от координаты } \eta). \end{aligned}$$

Полное решение поставленной задачи состоит из суперпозиции решений для первой и второй части граничных условий и имеет вид:

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= \frac{p_1 + p_2}{2} \left( 1 - e^{-(1+\sqrt{q})\xi} \right) + \frac{p_1 - p_2}{2} \left[ 1 - \frac{(3 + \sqrt{t_1})(1 + \sqrt{t_2})}{2(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1})} e^{-(1+\sqrt{t_1})\xi} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{(3 + \sqrt{t_2})(1 + \sqrt{t_1})}{2(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1})} e^{-(1+\sqrt{t_2})\xi} \right] \cos 2\eta; \quad (4) \\ \sigma_{22} &= \frac{p_1 + p_2}{2} \left( 1 + \sqrt{q} e^{-(1+\sqrt{q})\xi} \right) - \frac{p_1 - p_2}{2} \left[ 1 + \frac{\sqrt{t_1}(1 - \sqrt{t_1})(1 + \sqrt{t_2})}{2(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1})} e^{-(1+\sqrt{t_1})\xi} + \right. \end{aligned}$$

$$\tau = -\frac{p_1 - p_2}{2} \left[ 1 + \frac{\sqrt{t_1}(1 + \sqrt{t_2})}{(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1})} e^{-(1 + \sqrt{t_1})\xi} - \frac{\sqrt{t_2}(1 + \sqrt{t_1})}{(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1})} e^{-(1 + \sqrt{t_2})\xi} \right] \sin 2\eta,$$

$$+ \frac{\sqrt{t_2}(\sqrt{t_2} - 1)(1 + \sqrt{t_1})}{2(\sqrt{t_2} - \sqrt{t_1})} e^{-(1 + \sqrt{t_2})\xi} \left] \cos 2\eta;$$

где  $t_1 = (1 + 2a) - \sqrt{(1 + 2a)^2 - 9}$ ,  $t_2 = (1 + 2a) + \sqrt{(1 + 2a)^2 - 9}$

В случае изотропной пластины ( $q = 1$ ,  $\varepsilon = \frac{1 - \nu}{2}$ ,  $a = 2$ ,  $t_1 = 1$ ,  $t_2 = 9$ ) решение (4) переходит в известное решение аналогичной задачи.

2. Рассмотрим случай, когда контур отверстия в пластине подкреплен жестким кольцом (бесконечности подвергается осевому растяжению усилиями интенсивности  $p_1$  и  $p_2$ ). В сплошной пластине кроме соотношений (2) имеют место выражения:

$$U_1^0 = \frac{\text{Re}^\xi}{E_1} \left[ \frac{(1 - \nu_1)(p_1 + p_2)}{2} + \frac{(1 + \nu_1)(p_1 - p_2)}{2} \cos 2\eta \right],$$

$$U_2^0 = \frac{\text{Re}^\xi}{E_1} \left[ \frac{(q^{-1} - 1)(p_1 + p_2)}{2} \eta + \frac{p_1 - p_2}{2} \frac{1 + q^{-1} + 2\nu_1}{2} \sin 2\eta \right] \quad (5)$$

В (5) отброшены функции, появляющиеся при интегрировании.

В пластине с жестким кольцом на контуре отверстия  $R$  ( $\xi = 0$ ) отсутствуют смещения  $U_1$  и  $U_2$ , т.е. образование отверстия, подкрепленного жестким кольцом в пластине равносильно приложению к точкам воображаемого контура перемещений  $U_1 = -U_1^0$  и  $U_2 = -U_2^0$ . Действие  $U_1$  и  $U_2$  приводит к появлению второго поля смещений. Полное решение задачи с отверстием состоит из суммы решения (5) и указанного второго поля смещений. Для определения второго поля смещений необходимо рассмотреть задачу, когда на контуре отверстия ( $\xi = 0$ ) заданы перемещения  $U_1$  и  $U_2$ , на бесконечности смещения равны нулю, т.е. граничные условия имеют вид:

$$\text{при } \xi = 0, U_1 = -\frac{R}{E_1} \frac{(1 - \nu_1)(p_1 + p_2)}{2} - \frac{R}{E_1} \frac{(1 + \nu_1)(p_1 - p_2)}{2} \cos 2\eta,$$

$$U_2 = -\frac{R}{E_1} \frac{(q^{-1} - 1)(p_1 + p_2)}{2} \eta + \frac{R}{E_1} \frac{(p_1 - p_2)(1 + q^{-1} + 2\nu_1)}{4} \sin 2\eta, \quad (6)$$

при  $\xi \rightarrow \infty$   $U_1 \rightarrow 0$ ,  $U_2 \rightarrow 0$ .

Граничные условия (6) могут быть разбиты на две части:

$$U_1 = -\frac{R(1-\nu_1)(p_1+p_2)}{E_1} \frac{1}{2}, U_2 = -\frac{R(q^{-1}-1)(p_1+p_2)}{E_1} \frac{1}{2} \eta;$$

$$U_1 = -\frac{R(1+\nu_1)(p_1-p_2)}{E_1} \frac{1}{2} \cos 2\eta, U_2 = \frac{R(p_1-p_2)(1+q^{-1}+2\nu_1)}{E_1} \frac{1}{4} \sin 2\eta$$

Полное решение поставленной задачи имеет вид:

$$U_1 = \frac{\operatorname{Re} \xi}{E_1} \left[ \frac{(1-\nu_1)(p_1+p_2)}{2} + \frac{(1+\nu_1)(p_1-p_2)}{2} \cos 2\eta \right] +$$

$$+ \frac{Rq^{-1}(m\varepsilon + \varepsilon + \nu_1 q)}{E_1} \frac{p_1+p_2}{2} e^{-\sqrt{q}\xi} -$$

$$- \frac{Rq^{-1}(m\varepsilon + \varepsilon + q)}{E_1} \frac{p_1+p_2}{2} e^{-\xi} + \frac{1}{E_1} \left[ \frac{4-(1-t_1)(1-2\nu_1+\nu_1\sqrt{t_1})}{\sqrt{t_1}} C_1 e^{-\sqrt{t_1}\xi} + \right.$$

$$\left. + \frac{4-(1-\sqrt{t_2})(1-2\nu_1+\nu_1\sqrt{t_2})}{\sqrt{t_2}} C_3 e^{-\sqrt{t_2}\xi} \right] \cos 2\eta;$$

$$U_2 = \frac{\operatorname{Re} \xi}{E_1} \left[ \frac{(q^{-1}-1)(p_1+p_2)}{2} \eta - \frac{p_1-p_2}{2} \frac{1+q^{-1}+2\nu_1}{2} \sin 2\eta \right] -$$

$$- \frac{R(q^{-1}-1)}{E_1} \frac{p_1+p_2}{2} e^{-\xi} \eta + \frac{1}{E_1} \left[ \frac{4(\nu_1\sqrt{t_2}-1)-(1-\sqrt{t_2})(q^{-1}t_2-1+2\nu_1)}{2\sqrt{t_2}} C_3 e^{-\sqrt{t_2}\xi} - \right.$$

$$\left. - \frac{4(1-\nu_1\sqrt{t_1})+(1-\sqrt{t_1})(q^{-1}t_1-1+2\nu_1)}{2\sqrt{t_1}} C_1 e^{-\sqrt{t_1}\xi} \right] \sin 2\eta;$$

$$\sigma_{11} = E^*(e_{11} + \nu_1 q e_{22}); \sigma_{22} = E^*q(e_{22} + \nu_1 e_{11}); \tau = G e_{12};$$

$$e_{11} = \frac{e^{-\xi}}{R} \left( \frac{\partial U_1}{\partial \xi} \right); e_{22} = \frac{e^{-\xi}}{R} \left( \frac{\partial U_2}{\partial \eta} + U_1 \right); e_{12} = \frac{e^{-\xi}}{R} \left( \frac{\partial U_2}{\partial \xi} + \frac{\partial U_1}{\partial \eta} - U_2 \right).$$

Проведены сравнения результатов с известными точными решениями, в частности, для изотропного материала.

3. Пластина ослаблена эллиптическим отверстием со свободной границей ина бесконечности подвергается осевому растяжению усилиями интенсивности  $p_1$  и  $p_2$ .

Функция  $\omega(\zeta) = R(\zeta + c\zeta^{-1})$ . Тогда  $x = R(e^\xi + ce^{-\xi})\cos\eta$ ,  
 $y = R(e^\xi - ce^{-\xi})\sin\eta$ ,  $H = R(e^{2\xi} - 2c \cdot \cos 2\eta + c^2 e^{-2\xi})^{\frac{1}{2}}$ . Здесь  $R = \frac{1}{2}a\left(1 + \frac{b}{a}\right)$ ,  
 $c = \left(1 - \frac{b}{a}\right)\left(1 + \frac{b}{a}\right)^{-1}$ ,  $a, b$  – полуоси эллиптического отверстия.

В пластине без отверстия

$$\sigma_{11}^0 = \left(e^{4\xi} - 2ce^{2\xi} \cos 2\eta + c^2\right)^{-1} \left[ \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(e^{4\xi} + c^2) - c(p_1 - p_2)e^{2\xi} + \right. \\ \left. + \left( \frac{1}{2}(p_1 - p_2)(e^{4\xi} + c^2) - c(p_1 + p_2)e^{2\xi} \right) \cos \eta \right],$$

$$\sigma_{22}^0 = \left(e^{4\xi} - 2ce^{2\xi} \cos 2\eta + c^2\right)^{-1} \left[ \frac{1}{2}(p_1 + p_2)(e^{4\xi} + c^2) + c(p_1 - p_2)e^{2\xi} - \right. \\ \left. - \left( \frac{1}{2}(p_1 - p_2)(e^{4\xi} + c^2) + c(p_1 + p_2)e^{2\xi} \right) \cos \eta \right],$$

$$\sigma_{12}^0 = -\frac{1}{2}(p_1 - p_2)(e^{4\xi} - 2ce^{2\xi} \cos 2\eta + c^2)^{-1} \cdot (e^{4\xi} - c^2) \sin 2\eta.$$

Квазиосесимметричное решение

$$\sigma_{11} = -\sigma_{22} = -\frac{1}{2}\left(e^{4\xi} - 2ce^{2\xi} \cos 2\eta + c^2\right)^{-1} \left[ p_1(1-c)^2 + p_2(1+c)^2 \right] e^{2\xi}, \quad \sigma_{12} = 0.$$

Решение задачи с граничными условиями

$$\sigma_{11} = -\frac{1}{2}\left(1 - 2c \cdot \cos 2\eta + c^2\right)^{-1} \left[ p_1(1-c)^2 - p_2(1+c)^2 \right] \cos 2\eta,$$

$$\sigma_{12} = \frac{1}{2}(p_1 - p_2)\left(1 - 2c \cdot \cos 2\eta + c^2\right)^{-1} \cdot (1-c)^2 \sin 2\eta, \quad (\xi = 0),$$

$\sigma_{11} \rightarrow 0$ ,  $\sigma_{12} \rightarrow 0$ ,  $(\xi \rightarrow \infty)$  разыскивается методом возмущений [2]. При этом предполагается, что  $\frac{b}{a} = 1 - \chi\varepsilon$  ( $\chi \sim 1$ ),  $R = a\left(1 - \frac{1}{2}\chi\varepsilon\right)$ ,  $c = \chi\varepsilon(2 - \chi\varepsilon)^{-1}$ .

Тогда ряды метода принимают вид:

$$H = ae^\xi - \frac{1}{2}a\chi e^\xi \left(1 + e^{-2\xi} \cos 2\eta\right)\varepsilon + 0\left[(\chi\varepsilon)^2\right],$$

$$f_1 = 1 + \left(\chi e^{-2\xi} \cos 2\eta\right)\varepsilon + 0\left[(\chi\varepsilon)^2\right], \quad f_2 = \left(\chi e^{-2\xi} \sin 2\eta\right)\varepsilon + 0\left[(\chi\varepsilon)^2\right],$$

$$f_3 = \left(-2\chi e^{-2\xi} \cos 2\eta\right)\varepsilon + 0\left[(\chi\varepsilon)^2\right], \quad f_4 = \left(-2\chi e^{-2\xi} \sin 2\eta\right)\varepsilon + 0\left[(\chi\varepsilon)^2\right];$$

$$\psi_1(\eta) = -\frac{1}{2}(p_1 - p_2)\cos 2\eta + \frac{1}{2}\chi\left[(p_1 + p_2)\cos 2\eta - (p_1 - p_2)\cos^2 2\eta\right]\varepsilon + 0\left[(\chi\varepsilon)^2\right],$$

$$\psi_2(\eta) = \frac{1}{2}(p_1 - p_2)\left(\sin 2\eta + (\chi \sin 2\eta \cos 2\eta)\varepsilon + 0\left[(\chi\varepsilon)^2\right]\right), \quad \eta_1 = \eta_2 = 2\eta.$$

Приведем окончательную формулу для определения напряжений  $\sigma_{22}$ , действующих на площадках, нормальных к контуру эллиптического отверстия ( $\xi = 0$ ), которые представляют наибольший интерес. Напряжения  $\sigma_{11}$ ,  $\sigma_{12}$  на контуре равны нулю.

$$\sigma_{22} = \frac{1}{2}\left(1 - 2c \cdot \cos 2\eta + c^2\right)^{-1}\left(2(1 + c^2)(p_1 + p_2) - \left[p_1(1 + c)^2 - p_2(1 - c)^2\right]\cos 2\eta\right) - \frac{1}{2}\left(1 + \varepsilon^{-\frac{1}{2}}\right)(p_1 - p_2)\cos 2\eta - \varepsilon\left\{\frac{1}{2}(p_1 - p_2)\varepsilon^{-\frac{1}{2}}\cos 2\eta - \frac{1}{2}\chi\left[(p_1 + p_2)\cos 2\eta - \frac{1}{4}\left(1 + \varepsilon^{-\frac{1}{2}}\right)(p_1 - p_2)(1 + 2\cos 4\eta)\right]\right\} + 0(\varepsilon^2), \quad (1)$$

$$\sigma_{11} = \sigma_{12} = 0.$$

Если  $c = 0$  ( $\chi = 0$ ), то (1) переходит в решение соответствующей задачи для пластины с круговым отверстием.

Сравнение  $(\sigma_{22})_{\max}$ , вычисленного по формуле (1) для изотропной пластины с учетом первых двух приближений, с точным решением [3] показывает, что, например, при  $\frac{b}{a} = 0,65$  погрешность для различных случаев нагружения не превышает 5-10%.

4. Рассмотрим анизотропную пластину, ослабленную гипотрохоидным отверстием, которая на бесконечности подвергается осевому растяжению усилиями интенсивности  $p_1$  и  $p_2$ .

$$\text{Здесь } \omega(\zeta) = R\left(\zeta + ck^{-1}\zeta^{-k}\right) (0 < c < 1), \quad x = R\left(e^\xi \cos \eta + ck^{-1}e^{-k\xi} \cos k\eta\right),$$

$$y = R\left(e^\xi \sin \eta - ck^{-1}e^{-k\xi} \sin k\eta\right), \quad H = R\left(e^{2\xi} - 2ce^{-(k-1)\xi} \cos(k+1)\eta + c^2e^{-2k\xi}\right)^{\frac{1}{2}}.$$

При  $k = 1$  возвращаемся к случаю эллипса, при целых  $k > 1$  получаем кривые, представляющие собой правильные криволинейные многоугольники со скругленными углами: треугольник при  $k = 2$ , квадрат при  $k = 3$  и т.д.

На контуре отверстия

$$\begin{aligned} \sigma_{22} = & \frac{1}{2} \left( 1 - 2c \cdot \cos(k+1)\eta + c^2 \right)^{-1} \left[ 2(1+c^2)(p_1+p_2) - (p_1-p_2)\cos 2\eta + \right. \\ & \left. + 2c(p_1-p_2)\cos(k-1)\eta - 2c(p_1+p_2)\cos(k+1)\eta - c^2(p_1-p_2)\cos 2k\eta \right] - (2) \\ & - \frac{1}{2} \left( 1 + \varepsilon^{-\frac{1}{2}} \right) (p_1-p_2)\cos 2\eta - \varepsilon \left\{ \frac{1}{2}(p_1-p_2)\varepsilon^{-\frac{1}{2}} \cos 2\eta + \right. \\ & \left. + \frac{1}{2}\chi \left[ \left( 2\varepsilon^{-\frac{1}{2}} - 1 \right) (p_1-p_2)\cos(k-1)\eta - 2(p_1+p_2)\cos(k+1)\eta + \right. \right. \\ & \left. \left. + \left( 1 + \varepsilon^{-\frac{1}{2}} \right) (p_1-p_2)\cos(k+3)\eta \right] \right\} + o(\varepsilon^2), \quad (k=2,3,\dots). \end{aligned}$$

При решении задачи предложенным методом предполагалось, что  $c = \chi\varepsilon$  ( $\chi \sim 1$ ).

Для изотропной пластинки имеется возможность провести сравнение полученного решения с точным. Погрешность при вычислении  $(\sigma_{22})_{\max}$  (в частности, при  $k=3$ ,  $c = \frac{1}{3}$ ) по формуле (2) с учетом первых двух приближений даже в этом, неблагоприятном с точки зрения применяемого метода, случае не превышает 5-10% при различных видах нагружения.

Таким образом, предложенный метод может быть с успехом применен в исследовании краевых задач теории упругости для изотропных пластин.

#### Список литературы

1. Лехницкий С.Г. Теория упругости анизотропного тела/ С.Г. Лехницкий.- М.: Наука, 1977.- 416 с.
2. Маневич Л.И. Асимптотический метод в теории упругости ортотропного тела/ Л.И. Маневич, А.В. Павленко, С.Г. Коблик.-К.:Вища школа, 1991.-131с.
3. Мухелишвили Н.И. Некоторые основные задачи математической теории упругости/ Н.И. Мухелишвили.-М.: Наука, 1966.-708с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.А..  
Надійшла до редакції 10.03.2013*

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И РАСХОДА ВОЗДУХА ПОДЗЕМНОГО ЦЕХА

Разработаны требования к системе контроля температуры и расхода воздуха подземного цеха. Осуществлен выбор количества и мест расположения датчиков температуры и расхода воздуха. Приведены схемные решения системы контроля температуры и расхода воздуха на базе цифровых термодатчиков DS1820 и 8-разрядных микроконтроллеров серии ATmega.

Розроблено вимоги до системи контролю температури і витрати повітря підземного цеху. Здійснено вибір кількості та місць розташування датчиків температури і витрати повітря. Наведено схемні рішення системи контролю температури і витрати повітря на базі цифрових термодатчиків DS1820 і 8-розрядних мікроконтролерів серії ATmega.

The requirements for the control system of temperature and air flow underground departments were consisted. Making selection of number and location of sensors and air flow. Schematics of the temperature control system and air flow based on DS1820 digital temperature sensors and an 8-bit microcontroller series ATmega is presented.

Во многих отраслях народного хозяйства страны, где по технологическим требованиям, необходимо поддерживать стабильную температуру воздуха, используют подземные сооружения. Так в Крыму для этих целей используют подземные пространства, оставшиеся после извлечения известняка, в Донбассе - после выемки галенита. Они имеют большую высоту (до 10 м), объем десятки тысяч м<sup>3</sup>, расположены на небольшой глубине в зоне постоянных температур и имеют искусственное или естественное проветривание.

Так один из подземных цехов в г. Севастополе, используемых для выдержки виноматериала, расположен в толще пильного известняка на глубине 6...14 м от поверхности. Температура воздуха цеха колеблется пределах от 13,2 до 18,2°C, а относительная влажность от 72 % до 100 %. При этом температура и влажность воздуха непостоянны по площади цеха однако достаточно стабильны по времени.

По технологическим требованиям средняя температура воздуха цеха должна составлять  $14,5 \pm 0,5^\circ\text{C}$ . которая должна поддерживаться в указанных пределах системой вентиляции и кондиционирования воздуха (СКВ).

Для определения эффективных режимов работы вентиляторной установки и кондиционера необходимо контролировать температуру подаваемого в цех воздуха, температуру воздуха в цеху, общий расход воздуха и расход воздуха на рециркуляцию. Таким образом, возникает необходимость разработки системы контроля параметров микроклимата цеха и режима работы СКВ, которая должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Производить периодический контроль температуры воздуха в помещении цеха и воздуха подаваемого в цех.
2. Осуществлять замер температуры воздуха в цехе в интервале 12...19°C с погрешностью не превышающей  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ .

3. Осуществлять замер температуры воздуха подаваемого в цех в интервале  $-5\dots+38^{\circ}\text{C}$  с погрешностью не превышающей  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ .
4. Количество и расположение датчиков температуры в цехе должно позволять определять фактическую среднюю температуру воздуха цеха.
5. Определять количество воздуха подаваемого в цех и количество рециркуляционного воздуха.
6. Периодичность опроса датчиков температуры и расхода воздуха должна составлять 10...20 мин.
7. Передавать информацию о замеренных параметрах на персональный компьютер, расположенный от первичных датчиков на расстоянии 60...450 м.

Система контроля состоит из персонального компьютера (ПК) с подключенным к нему главным устройством, расположенного в кабинете начальника цеха, и датчиков температуры и расхода воздуха, располагаемых в помещении цеха и в помещении кондиционера (рис. 1).

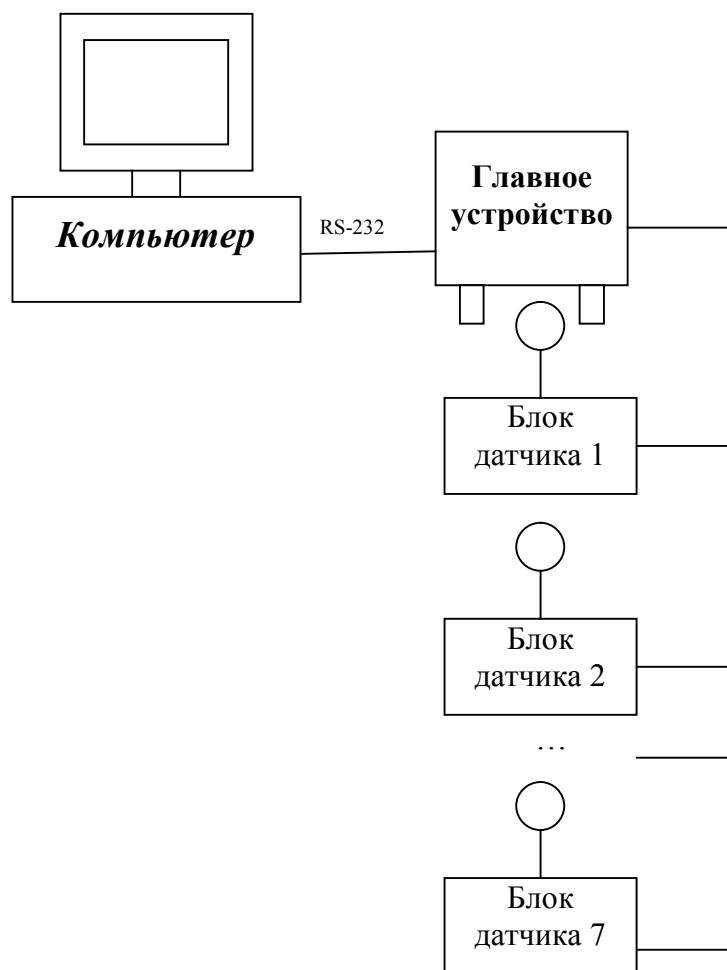


Рис. 1. Принципиальная схема системы контроля температуры и расхода воздуха цеха

Замер параметров подаваемого в цех воздуха будет осуществляться в канале вентилятора и в рециркуляционном канале. В канале вентилятора расположены датчик температуры подаваемого воздуха и первый измеритель скоро-



сти и направления движения воздуха (ИСНВ). В рециркуляционном канале расположен второй ИСНВ.

Расположение и количество датчиков температуры в цехе должно давать возможность получать представительную информацию о средней температуре воздуха. Проведенные исследования при естественном воздухообмене и при работе СКВ позволили установить, что температура воздуха в цехе не постоянна, она изменяется как по площади цеха, так и по высоте.

Учитывая эту закономерность, а также то, что основная масса виноматериала находится в бочкотаре, на высоте от 1,2 до 4,5 м, высота установки датчиков принята 2...2,5 м. Установка датчиков на такой высоте позволяет получать достоверную информацию о параметрах воздуха в зоне выдержки виноматериалов, облегчает обслуживание датчиков и исключает возможность случайного прикосновения к датчикам. Для исключения влияния температуры ceilings и вмещающих пород на показания датчиков температуры их следует размещать на расстоянии не ближе 500 мм от обнаженных поверхностей и снабжать тепловым экраном.

Для получения достоверной информации о средней температуре воздуха цеха, при которой производится выдержка виноматериала, нами выполнены многочисленные замеры температуры воздуха в 24 замерных пунктах (рис.2). Проведенными исследованиями установлено, что, несмотря на значительную изменчивость тепловлажностных параметров воздуха по площади цеха, в нем можно выделить 7 зон с различным тепловым режимом: верхний подвал, пять цеховых штолен и входная штольня. Выполненные исследования позволили установить, что характерные точки, имеющие средние параметры воздуха, расположены в средней части галерей №1, №2 и №3. Для штольни № 4 такая точка расположена на расстоянии 1/3 длины от входа в цех. Этот вывод подтверждают результаты сравнения средней температуры воздуха цеха, полученных по результатам замера в 24 точках цеха  $t_{24_{cp}}$  и в местах установки датчиков температуры  $t_d$  (табл.1).

Таблица 1

Результаты расчета средней температуры цеха

Дата замера	23.10.11	6.11.11	4.12.11	22.01.11	25.02.121
$t_{24_{cp}}$ , °C	16,1	15,5	14,9	13,8	14,0
$t_d$ , °C	16,2	15,5	14,8	14,0	13,8
$\Delta = t_{24_{cp}} - t$ °C	-0,1	0	+0,1	-0,2	+0,2

Из табл.1 видно, что температуры, полученные по результатам площадных съемок, и температуры, полученные по замерам в местах расположения датчиков, практически совпадают. Максимальное расхождение составляет  $\Delta = \pm 0,2^\circ\text{C}$ , что соответствует заданной точности определения температуры воздуха цеха и свидетельствует об отсутствии систематической ошибки.

Таким образом, для получения информации о средней температуре воздуха как всего цеха, так и отдельных его зон, необходимо и достаточно иметь в цеху 6 датчиков температуры.

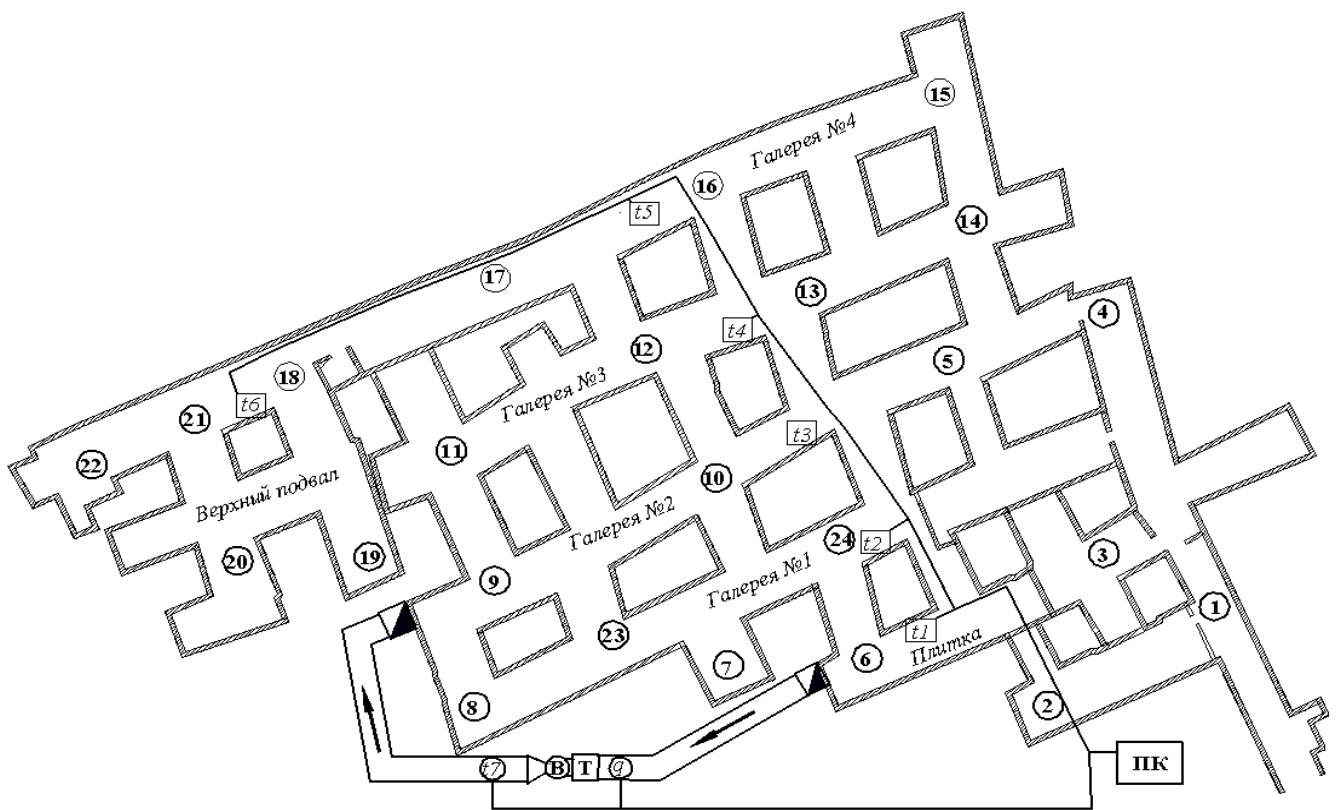


Рис.2. Схема размещения датчиков температуры ( $t_1 \dots t_7$ ) и датчиков расхода воздуха ( $q$ ): Т – теплообменник, ПК – персональный компьютер, В- вентилятор

Следовательно, система контроля параметров микроклимата цеха и режима работы СКВ должна содержать 7 датчиков температуры и два датчика расхода воздуха ИСНВ. При разработке блоков системы, как управляющие микропроцессоры, были применены 8-разрядные микроконтроллеры серии ATmega производства Atmel.

Ведущим устройством системы является главное устройство. Оно задает такт обмена цифровой информацией и посылает управляющие команды подчиненным устройствам – блокам датчиков. В ответ на запрос системы блоки датчиков исполняют посланные им команды. Предназначение главного устройства системы состоит в сборе и обработке данных с температурных датчиков и датчиков расхода воздуха, а также дальнейшей передачи этой информации в программное обеспечение. Главное устройство (рис.3) основано на микроконтроллерах ATmega 8 фирмы Atmel. В состав устройства входит интерфейс ввода вывода, микроконтроллер, каналы аналогового ввода для датчиков расхода, последовательный интерфейс RS-232 для обмена информацией с компьютером а также интерфейс для обмена цифровой информацией с блоками датчиков системы. Весь информационный поток системы движется от блоков датчиков к главному устройству.

Для реализации обмена информацией главного устройства системы с блоками датчиков системы была применена линия данных с отдельными сигнальными линиями ввода и вывода. В информационную линию системы можно

подключить до 100 блоков датчиков. Длина линии может быть до 4 км. Протокол обмена цифровой информацией представляет собой упрощенный модернизированный протокол 1-Wire с возможностью использовать отдельные сигнальные линии ввода и вывода и регулировать тайминги информационного обмена. Обмен информацией между главным устройством и блоками датчиками производится через логическую схему «И», образованную выходами всех присоединенных к шине устройств и резистором подтяжки.

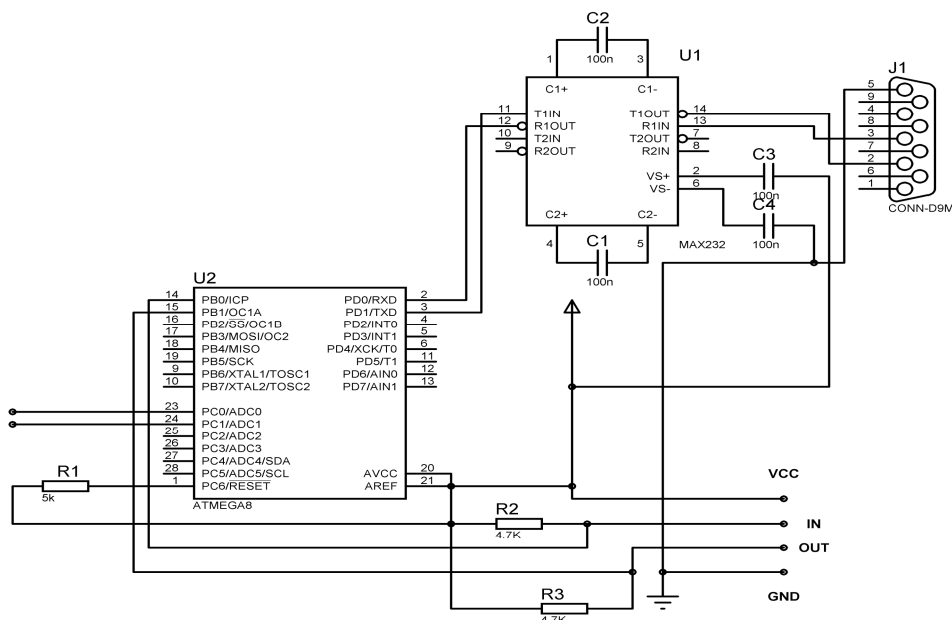


Рис. 3. Принципиальная схема главного устройства системы

Замер температуры производится датчиками температуры, которые подключаются к специальным блокам сбора информации (блокам датчика) (рис.4), которые предназначены для отправки информации о температуре воздуха в главное устройство. Блоки датчиков состоят из микроконтроллера, интерфейса ввода-вывода для обмена температурными показателями и цифрового температурного датчика DS18B20.

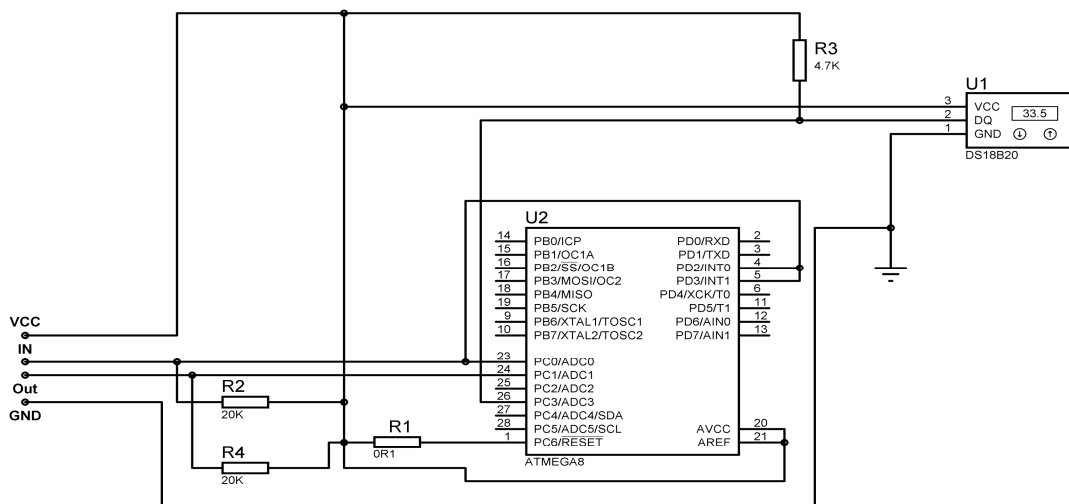


Рис. 4. Принципиальная схема блока датчика системы

Все компоненты блока датчика содержатся в его корпусе. Микросхема в блоке датчика служит для снятия информации с датчика DS18B20 и передачи этой информации по каналу ввода-вывода.

Вид блока датчика в сборе, установленного в точке измерения, приведен на рис.5.

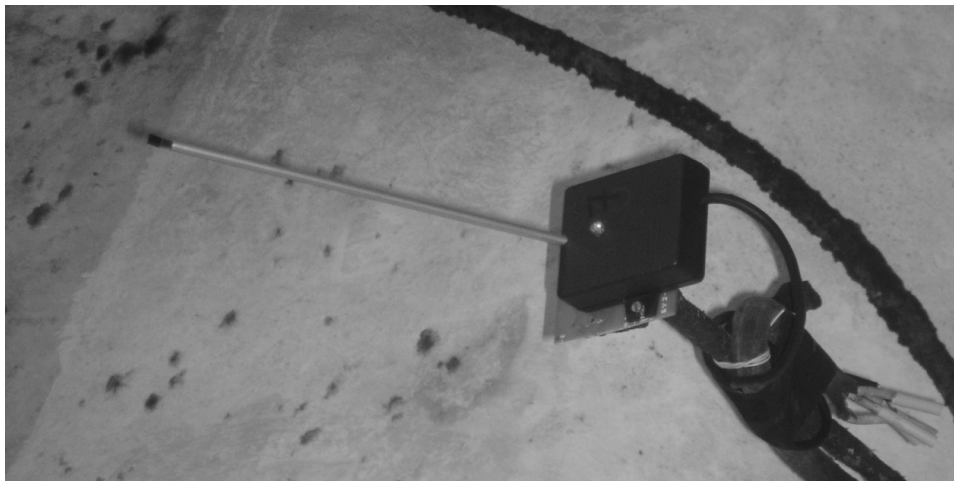


Рис. 5. Блок датчика температуры в сборе

Основным элементом блока датчика является датчик температуры. В системе, для измерения температуры воздуха, используется цифровой датчик DS18B20 фирмы Maxim, рассчитанный на работу по интерфейсу 1-Wire и обеспечивающий преобразование температуры с разрядностью до 12 бит. Диапазон измеряемых температур составляет от  $-55$  до  $+125^{\circ}\text{C}$  с шагом  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

Сигнальный вывод датчика присоединяется к сигнальной шине, управляемой одной из линий ввода-вывода микроконтроллера. Через резистор подтяжки с сопротивлением порядка  $5\text{k}\Omega$  сигнальная шина соединяется с линией питания ( $3...5,5\text{В}$ ). Благодаря использованию цифровых датчиков температуры DS1820 возможно подключить через цифровую четырехпроводную линия связи до 120 датчиков в зависимости от технологических нужд. Температурный датчик DS1820 передает в микроконтроллер уже обработанную температуру в цифровом последовательном коде по однопроводному интерфейсу.

В качестве датчиков расхода воздуха используются измерители скорости и направления воздуха (ИСНВ) с аналоговым выходом. Датчики расхода воздуха определяют расход воздуха в канале вентилятора и в рециркуляционном канале и передают информацию главному устройству по аналоговому каналу.

Благодаря удобному программному обеспечению, настраиваемому индивидуально для каждого датчика, можно оперативно контролировать температуру и скорость изменения температуры цеха.

Реализация принятых схемных решений в условиях подземного цеха с высокой (до 100%) влажностью воздуха и большой электронасыщенностью показала высокую работоспособность, помехоустойчивость и отсутствие сбоев в работе системы. Эксплуатация разработанной системы контроля температуры и расхода воздуха позволяет получать оперативную информацию для кор-

ректировки режима работы СКВ и поддержания стабильного теплового режима помещения.

**Выводы.** Определены основные требования к системам контроля температуры и расхода воздуха подземных сооружений.

Выбор количества термодатчиков и мест их установки для получения средней температуры воздуха зависит от топологии помещения и воздухораспределения и должен осуществляться в зависимости от конкретных условий путем зонирования помещения и определения характерных точек.

В системах контроля параметров микроклимата подземных сооружений целесообразно применять термодатчики DS1820, которые позволяют измерять температуру воздуха в пределах от от -55 до +125оС с шагом 0,1оС при влажности воздуха до 100%.

#### Список литературы

1. Тепловой режим подземных сооружений Севера: Научное издание / Галкин А. Ф.— М: Наука, 2000. - 304 С.
2. Кувшинов Ю.Я. Исследование теплового режима тоннеля / Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции. Труды МГСУ/ Кувшинов Ю.Я., Рымаров А.Г. — М.: Изд-во МГСУ, 2003.
3. Рубинэ М. Кондиционирование воздуха в подземных сооружениях/ Рубинэ М. — М.: Госстройиздат, 1963.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.  
Надійшла до редакції 07.04.2013*

УДК 622.453

© Г.П. Кривцун, Е.В. Столбченко

## **РАСЧЕТ ДЕПРЕССИИ ТРУБОПРОВОДОВ МЕСТНОГО ПРОВЕТРИВАНИЯ И ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ НАЛИЧИИ УТЕЧЕК ВОЗДУХА**

В работе уточнены закономерности выделения газа из пластов угля и выработанного пространства в подготовительные выработки, разработана математическая модель расчета вентиляционного трубопровода, учитывающая распределенные утечки из труб в подготовительную выработку и позволяющая снизить энергозатраты на местное проветривание.

У роботі уточнені закономірності виділення газу з пластів вугілля і виробленого простору в підготовчі виробки, розроблена математична модель розрахунку вентиляційного трубопроводу, що враховує розподілені витіки з труб в підготовчу виробку і дозволяє знизити енерговитрати на місцевий опір.

In refined patterns of gas evolution from the seams of coal and gob in advance working, developed a mathematical model for calculating the ventilation pipe, which takes into account the distributed leakage from pipes in the preparatory development while minimizing the energy consumption for local airing.

Угольные шахты Украины, особенно Донбасса, характеризуются сложными горно-геологическими условиями в сравнении с другими странами. Средняя глубина разработки пластов превышает 720 м, а 33 шахты работают на глубине 1000–1400 м. Из 190 действующих шахт 90 % опасны по содержанию газа метана, 60 % – по выбросам угольной пыли, 45 % – по случайным выбросам и горным ударам, 22 % – по самовоспламенению угля. Среди ведущих стран мира Украина занимает десятое место по добыче угля, а по количеству погибших в шахтах – одно из первых. Несмотря на существенное сокращение на протяжении последних пятнадцати лет объемов добычи угля и численности шахтеров, уровень аварийности и смертельного травматизма не уменьшился. На протяжении последнего десятилетия в подземных выработках произошло 38 взрывов газа и пыли, 78 вспышек метана, 1512 газодинамических явлений, 1376 завалов горных выработок, 702 подземных пожаров, вследствие чего погибло 3401 человек. [1]

Общеизвестно, что эффективное и надёжное проветривание мест ведения горных работ является основой безопасности подземных работ на угольных шахтах, при этом важное значение имеет и экономический фактор вентиляции. Такой комплексный подход, основанный на системных принципах разработки и внедрение новых методов проектирования систем вентиляции угольных шахт, является перспективным направлением аэрологии горных предприятий, как в Украине, так и за рубежом. Особую актуальность в современных экономических условиях приобретает проблема совершенствования вентиляции подготовительных выработок, так как, именно, высокая производительность проходческих участков при полном соблюдении требований безопасности обеспечит высокие темпы поддержания очистного фронта в угольной промышленности Украины.

Вопросы безопасности являются важнейшим критерием эффективности процесса угледобычи, причем вопрос, газовой безопасности в связи с крупнейшими авариями с многочисленными человеческими жертвами на шахтах СНГ в 1996–2010 г.г. остается по-прежнему особо актуальным.

До настоящего времени одной из основных причин травматизма, является загазирование горных выработок. Действующее руководство по проектированию вентиляции угольных шахт [2] предусматривает расчет количества воздуха, необходимого для проветривания подготовительных выработок, из условия статического разжижения газа. При этом прогноз газообильности основан на эмпирических формулах, удовлетворительно описывающих средний газовый фон, но не учитывающих динамики экстренных газовыделений вследствие колебаний статического давления воздуха в шахте.

Анализ фактической аварийности на угольных шахтах Донбасса показывает, что газовыделения в подготовительные выработки, в период падения атмосферного давления, является одной из основных причин несчастных случаев со смертельным исходом при нарушении состава рудничной атмосферы.

Актуальность вопроса обусловлена еще и тем, что, несмотря на сокращение числа угледобывающих предприятий за последние десятилетия, удельный вес этого вида аварий остается достаточно стабильным (5,4 % в 70-х годах, 14,0 % в 80-х годах, 8,3 % в 90-е годы).

Особое значение имеет решение вопросов вентиляции подготовительных выработок на стадии проектирования, так как ошибки при проектировании могут привести к снижению уровня безопасности труда, ограничению нагрузки на забой, увеличению затрат труда, ремонт и модернизацию оборудования.

Следовательно, дальнейшее совершенствование методики проектирования вентиляции подготовительных выработок шахт Донбасса является актуальной научно-технической задачей.

Целью работы является определение депрессии шахтных воздухопроводов с переменным по длине расходом воздуха, как наиболее актуального вопроса.

Шахтные воздухопроводы отличаются различной степенью негерметичности. К воздухопроводам с переменным по длине расходом воздуха в шахте относятся трубопроводы местного проветривания и штреки, прилегающие к выработанному пространству.

Депрессия металлического трубопровода  $h$  определяется по формуле В.Н. Воронина [2]:

$$h = RpQ_3^2, \quad (1)$$

где  $R$  – аэродинамическое сопротивление трубопровода,  $\frac{H}{c \cdot m^8}$ ,

$$R = 6,5 \frac{\alpha l}{d^5};$$

$\alpha$  – коэффициент аэродинамического сопротивления трубопровода,  $\frac{H}{c \cdot m^4}$ ,

$l$  – длина трубопровода, м;  $d$  – диаметр трубопровода, м;  $p$  – коэффициент утечек воздуха (расходный коэффициент);  $Q_3$  – расход воздуха на конце трубопровода (количество воздуха, поступающего в забой), м<sup>3</sup>/с.

Для металлического трубопровода

$$p = \left( \frac{1}{3} k_y d \frac{l}{m} \sqrt{R} + 1 \right)^2, \quad (2)$$

где  $k_y$  – удельный стыковой коэффициент условного трубопровода диаметром 1м, принимаемый согласно [2];  $m$  – длина звена трубопровода, м.

Расчет по формуле (2) даёт приближенный результат, так как в неё входит средний геометрический расход воздуха в трубопроводе.

Проведём расчет трубопровода местного проветривания с учетом изменения расхода воздуха по длине трубопровода с помощью коэффициента утечек воздуха, определяемого по формуле (2).

Формулу (3) для трубопровода длиной  $x$  можно записать

$$p = \left( ax^{3/2} + 1 \right)^2,$$

где  $a = \frac{1}{3} \cdot \frac{k_y}{m} d \sqrt{r}$ ,  $r$  – удельное аэродинамическое сопротивление металличе-

ского трубопровода,  $\frac{H}{c \cdot m^9}$ .

Депрессия элементарного участка трубопровода  $dH$  длиной  $dx$ , расположенного на расстоянии  $x$  от конца трубопровода, определяется выражением

$$dH = rdx(pQ_3)^2 = rQ_3^2(ax^{3/2} + 1)^4 dx.$$

Депрессия трубопровода длиной  $l$

$$\int_0^h dH = h = \int_0^l rQ_3^2(ax^{3/2} + 1)^4 dx = rQ_3^2(0,14a^4l^7 + 0,73a^3l^{5,5} + 1,5a^2l^4 + 1,6al^{2,5} + l)$$

Для металлического трубопровода депрессия определяется формулой

$$h = RkQ_3^2,$$

где  $k$  – напорный коэффициент,

$$k = 0,14L^6 + 0,73L^{4,5} + 1,5L^3 + 1,6L^{1,5} + 1.$$

$$L = a^{2/3}l.$$

В таблице 1 приведены значения расходного коэффициента  $p$  и напорного коэффициента  $k$  для металлического трубопровода при различных длинах и диаметрах и  $m = 2$ ,  $k_y = 0,001$ . Данные таблицы подтверждают известный в горно-технической литературе вывод о допустимости расчета депрессии трубопровода местного проветривания по формуле (1) только для условий с относительно низким значением коэффициента  $p$ . При большой длине и малом диаметре трубопровода формула (1) даёт значительную ошибку.

Таблица 1

Значения расходного коэффициента

Диаметр, $m$	$l = 100$ м		$l = 500$ м		$l = 1000$ м		$l = 1500$ м		$l = 2000$ м	
	$p$	$k$	$p$	$k$	$p$	$k$	$p$	$k$	$p$	$k$
0,5	1,065	1,052	1,833	1,794	3,992	5,009	8,043	13,313	14,638	42,704
0,7	1,030	1,025	1,374	1,326	2,211	2,228	3,591	4,232	5,650	8,453
1,0	1,013	1,011	1,124	1,129	1,469	1,414	1,929	1,902	2,557	2,664

Решение аэродинамических задач применительно к негерметичным трубопроводам вентиляционных систем местного проветривания является также весьма актуальным и для горных выработок, (чаще штреков) примыкающих к выработанному пространству, т.е. при наличии равномерно распределенных утечек воздуха по их длине. Здесь можно записать

$$Q_6 = p_v Q_m,$$

где  $Q_6$ ,  $Q_m$  – соответственно, больший и меньший расходы воздуха в конечных точках участка штрека, где имеют место утечки за счет выработанного пространства;  $p_v$  – коэффициент утечки (притока) воздуха по длине штрека.

Для откаточного штрека:  $Q_6$  – расход воздуха в начале указанного участка штрека по ходу струи;  $Q_m$  – в конце участка.

Для вентиляционного штрека:  $Q_6$  – расход воздуха в конечной точке участка;  $Q_m$  – в начале участка. Точка примыкания к лаве для откаточного штрека находится в конце участка, для вентиляционного – в начале его.



В результате многочисленных натуральных исследований утечек воздуха через выработанное пространство, можно утверждать, что зависимость  $p_v$  от расстояния от лавы  $l_{ш}$  с достаточной точностью аппроксимируется полиномом 2-й степени:

$$p_v = 1 + b_1 l_{ш} - b_2 l_{ш}^2,$$

где  $l_{ш}$  – длина участка штрека, находящегося в пределах зоны утечек воздуха через выработанное пространство, м;  $b_1, b_2$  – постоянные коэффициенты эмпирической формулы, описывающей зависимость  $p_v$  от  $l_{ш}$ .

Значения  $b_1, b_2$  определяются путём обработки материалов анемометрической съемки вдоль штрека. Величины коэффициентов  $b_1, b_2$  зависят от утечек через выработанное пространство и длины утечек.

Депрессия элементарного участка длиной  $dx$ , находящегося на расстоянии  $x$  от лавы (в сторону выработанного пространства), определяется выражением

$$dH = r_{ш} (p_v Q_l)^2 dx = r_{ш} Q_l^2 (1 + b_1 x - b_2 x^2)^2 dx,$$

где  $r_{ш}$  – удельное аэродинамическое сопротивление штрека,  $\frac{H}{с \cdot м^9}$ ,  $Q_l$  – расход воздуха по лаве,  $м^3/с$ .

Обозначим длину зоны утечек воздуха  $l_{ш}$ , тогда депрессия штрека определится выражением

$$\int_0^h dH = h = \int_0^{l_{ш}} r_{ш} Q_l^2 (1 + b_1^2 x^2 + b_2 x^4 + 2b_1 x - 2b_2 x^2 - 2b_1 b_2 x^3 dx) =$$

$$= r_{ш} Q_l^2 \left[ l_{ш} + b_1 l_{ш}^2 + \frac{b_1^2 - 2b_2}{3} l_{ш}^3 - \frac{b_1 b_2}{2} l_{ш}^4 + \frac{b_2^2}{5} l_{ш}^5 \right] = R_{ш} k_{ш} Q_l^2, \quad (3)$$

где  $R_{ш}$  – аэродинамическое сопротивление штрека без учета утечек,  $\frac{H}{с \cdot м^8}$ ,

$k_{ш}$  – напорный коэффициент для штрека,

$$k_{ш} = 1 + b_1 l_{ш} + \frac{b_1^2 - 2b_2}{3} l_{ш}^2 - \frac{b_1 b_2}{2} l_{ш}^3 + \frac{b_2^2}{5} l_{ш}^4. \quad (4)$$

По данным А.Ф. Милетича [3] изменение расхода воздуха вдоль вентиляционного штрека 11-й восточной лавы шахты №2-2-бис (Донбасс) соответствует данным:

Таблица 2

Значения изменения расхода воздуха вентиляционного штрека

$l_{ш}, м$	2	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
$Q_{ш}, м^3/мин$	275	315	350	375	400	415	425	430	435	439	442	444	445

Путём точечного квадратичного аппроксимирования функции получена формула

$$k_{ш} = 1 + 2,2 \cdot 10^{-3} l_{ш} - 1,8 \cdot 10^{-6} l_{ш}^2. \quad (5)$$

Значит, напорный коэффициент для участка штрека  $l_{ш} = 600$  м по формуле (5) равен 2,458.

Расчет депрессии штрека по геометрическому расходу дает значительную ошибку в сравнении с расчетом по формуле (3).

Расход воздуха может также изменяться по длине лавы, например, при прямоточных схемах проветривания выемочного участка, в том числе при наличии подсвеживания. Тогда для определения депрессии лавы должна также использоваться формула (3). Все параметры, входящие в формулу, в этом случае берутся для рабочего пространства лавы.

Депрессия выемочного участка в пределах зоны утечек воздуха может определяться как сумма депрессий лавы и участков штреков, расположенных по направлению движения струи прилегающих к выработанному пространству.

При возвратноточной схеме проветривания и сплошной системе разработки депрессия выемочного участка в пределах зоны утечек определяется выражением

$$h_{уч} = (R_{о.ш.} k_{в.ш.} + R_{в.ш.} k_{в.ш.} + R_{л}) Q_{л}^2, \quad (6)$$

где  $R_{о.ш.}$ ,  $R_{в.ш.}$  – аэродинамические сопротивления откаточного и вентиляционного штреков в пределах зоны утечек,  $\frac{H}{с \cdot м^8}$ ;  $k_{о.ш.}$ ,  $k_{в.ш.}$  – напорные коэффициенты, соответственно, для откаточного и вентиляционного штреков, определяемые по формуле (4).

При прямоточных схемах проветривания выемочного участка депрессия его в пределах указанной зоны определяется по формуле

$$h_{уч} = (R_{ш} k_{ш} + R_{л} k_{л}) Q_{л}^2, \quad (7)$$

где  $R_{ш}$ ,  $k_{ш}$  – относятся к откаточному или вентиляционному штрекам;  $Q_{л}$  – расход воздуха в начальной или конечной точках лавы,  $м^3/с$ ;  $k_{л}$  – напорный коэффициент для лавы, определяемый по формуле (4).

При использовании метода напорный коэффициент (4), депрессия штрека (3) и депрессия выемочного участка (6), (7) определяются при любом режиме движения воздуха при просачивании через выработанное пространство.

#### Список литературы

1. Слесарев В.В., Коваленко А.Н., Алексеев А.М. Управление концентрацией метана в выработанном пространстве выемочного участка угольной шахты// Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2007.– № 29.– С. 235–246.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Государственный нормативный акт по охране труда. – К.: Основа, 1994. – 311 с.
3. Милетич А.Ф. Утечки воздуха и их расчет при проветривании шахт/ А.Ф. Милетич. – М.: «Недра», 1968.– 146 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.  
Надійшла до редакції 03.04.2013*

## **РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИПРОБУВАНЬ ПРОТИПИЛОВИХ ЗАСОБІВ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ ОРГАНІВ ДИХАННЯ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ГАРМОНІЗОВАНИХ СТАНДАРТІВ**

В работе исследовано влияние дисперсного состава угольной пыли на процесс запыления фильтрующих элементов. Проанализированы существующие модели установок по запылению фильтров и разработана новая конструкция, которая отвечает требованиям гармонизированных европейских стандартов DSTU EN. Проведен анализ работы стенда с разными режимами запыления, результатом чего стало определение массы пыли на фильтрующем элементе. Предложена методика по определению пылеемкости и сопротивления фильтров.

В роботі досліджено вплив дисперсного складу вугільного пилу на процес запылення фільтрувальних елементів. Проаналізовано існуючі моделі устаткування з запылення фільтрів та розроблено нову конструкцію щодо вимог гармонізованих європейських стандартів DSTU EN. Проведено аналіз роботи стенду за різними режимами запылення, результатом чого стало визначення маси пилу на фільтрувальному елементі. Запропоновано методику з визначення пиломісткості та опору фільтрів.

The influence of the coal dust disperse consistency to the dusting of the filtering elements is researched. Analyzed the existing equipment models for dusting of the filters and designed the new model that meet to requirements of the harmonized European standards DSTU EN. The stand with different dusting conditions is analyzed and result of it is determination of the dust mass on the filtering element. Proposed the method for determination of the dust holding capacity and breath resistance.

На усіх підприємствах, де в процесі роботи подрібнюються матеріали існує загроза з виникнення перевищення ГДК пилу різного типу. Дана загроза стосується як гірничорудних підприємств, так і будівельних майданчиків, харчових виробництв. Проте використання засобів індивідуального захисту органів дихання (ЗІЗОД) значно зменшує ризик виникнення професійних легеневих захворювань, які можуть негативно сказатись на здоров'ї працівника та його нащадках.

Багато властивостей пилу, в тому числі її патологічний вплив, визначаються дисперсним складом пилу. Відповідно до класифікації [5], пил – це аерозольна система з розмірами частинок від 1 до 100 мкм. Слід зазначити, що частки малих розмірів (менше 2 мкм.) складають незначну частину в загальній масі пилу, більша частина яких видихається і не загрожує захворюваннями [1]. Це ж стосується і частинок великих розмірів (більше 60...70 мкм), їх роль у розвитку професійних захворювань теж істотно зменшується через інтенсивне затримання цієї фракції в носоглотці. Ці фракції пилу мають високу швидкість осідання в повітрі, і в значній кількості присутні лише безпосередньо біля джерел пилоутворення. Тому, дисперсний склад промислового пилу, тобто розмір частинок, можна вважати таким, що змінюється в діапазоні від 2 до 60 мкм. Саме цей діапазон слід брати до уваги при випробуваннях засобів індивідуального захисту органів дихання робітників (ЗІЗОД), призначених, зокрема, для гірничорудних підприємств і вугільних шахт, будівництва [2].

Виходячи з вище сказаного, логічно досліджувати якість протипилових респіраторів за пиловим аерозолем. Крім того, такі випробування ЗІЗОД є обов'язковими за гармонізованими стандартами ДСТУ EN 143:2002 та ДСТУ EN 149:2003. Тому, виникла необхідність у розробці спеціального стенду для випробувань засобів пилозахисту, який з одного боку враховував особливості рудникової атмосфери, а з іншого відповідав вимогам європейських стандартів.

Вимірювання захисної ефективності засобів індивідуального захисту органів дихання за тест-аерозолем вугільний пил виконується за допомогою гравіметричного методу, який полягає у в осадженні з відомого об'єму повітря випробувальної камери частинок пилу на спеціальні фільтри за допомогою аспірації і визначення потім їх маси.

Період випробувань залежить від досягнення:

- клапанними протипиловими фільтрувальними півмасками граничного опору дихання на вдиху за постійного потоку повітря  $95 \text{ дм}^3/\text{хв.}$ : 4 мбар – для першого класу захисту, 5 мбар – для другого та 7 мбар – для третього або на видиху 1,8 мбар за постійного потоку повітря  $160 \text{ дм}^3/\text{хв.}$ ;

- безклапанними фільтрувальними півмасками граничного опору дихання на вдиху за постійного потоку повітря  $95 \text{ дм}^3/\text{хв.}$ : 3 мбар – для першого класу захисту, 4 мбар – для другого та 5 мбар – для третього;

- фільтрами до респіраторів граничного опору дихання за постійного потоку повітря  $95 \text{ дм}^3/\text{хв.}$ : 4 мбар – для першого класу захисту, 5 мбар – для другого та 7 мбар для третього.

Для проведення таких випробувань був розроблений універсальний стенд, що забезпечує приготування та подачу свіжовиготовленого вугільного пилу (рис. 1). Особливий інтерес представляє та його частина, яка забезпечує підготовку вугільного пилу, що вигідно відрізняє стенд від інших установок аналогічного значення, де вдувається заздалегідь приготований порошок [3]. Це дає змогу імітувати реальний процес пилоутворення зі збереженням усього комплексу характеристик, що властиві вугільному пилу (розвиненість поверхні, відсутність конгломератів, вологості, електрзарядженості та ін.). У цьому випадку важливе значення набувають режими подрібнення пиломатеріалу і видування частинок аерозолу, за яких буде забезпечена відтворювана подача необхідного дисперсного складу і діапазону концентрацій.

Випробувальний стенд працює наступним чином. Під тиском повітря від компресора потрапляє через фільтр попереднього очищення 1 на стабілізатор 2. Кількість цього повітря, регулюється вентилем 4 і контролюється манометром, виходячи з перепаду тиску на каліброваній діафрагмі 5. Для утворення пилового аерозолу в вібраційний генератор пилу 9 подається від 2 до  $10 \text{ дм}^3/\text{хв.}$  чистого повітря залежно від наперед заданої концентрації пилу. Вібраційний генератор пилу являє собою сталевий стакан з впускним і випускним штуцерами, в який завантажуються попередньо роздрібнені куски вугілля загальною масою близько 100 г. В результаті вібрації камери відбувається інтенсивне самоподрібнення цих кусків до пилового стану. Для прискорення подрібнення передбачено завантаження в камеру генератора сталевих шарів діаметром 10 – 15 мм. За допомогою вентиля 6 і ротаметра 8 здійснюється регулювання кількості повіт-

ря, що надходить до генератора, завдяки цьому можна отримати не тільки різну концентрацію пилу, а й різний дисперсний склад. Інша частина чистого повітря подається у випробувальну камеру 11 з розміщеним в ній респіратором. Очищене повітря з підмаскового простору ЗІЗОД, в кількості 30 дм<sup>3</sup>/хв. відводиться через алонж з фільтром АФА 12, за допомогою вакуумного насоса 13. Накопичення пилу на захисному виробі контролюється завдяки зростанню аеродинамічного опору, який визначається за показаннями мікроманометра 10. Кількість пилу, що не затримався в ЗІЗОД, тобто потрапив у легені людини, визначається за допомогою фільтрів АФА.

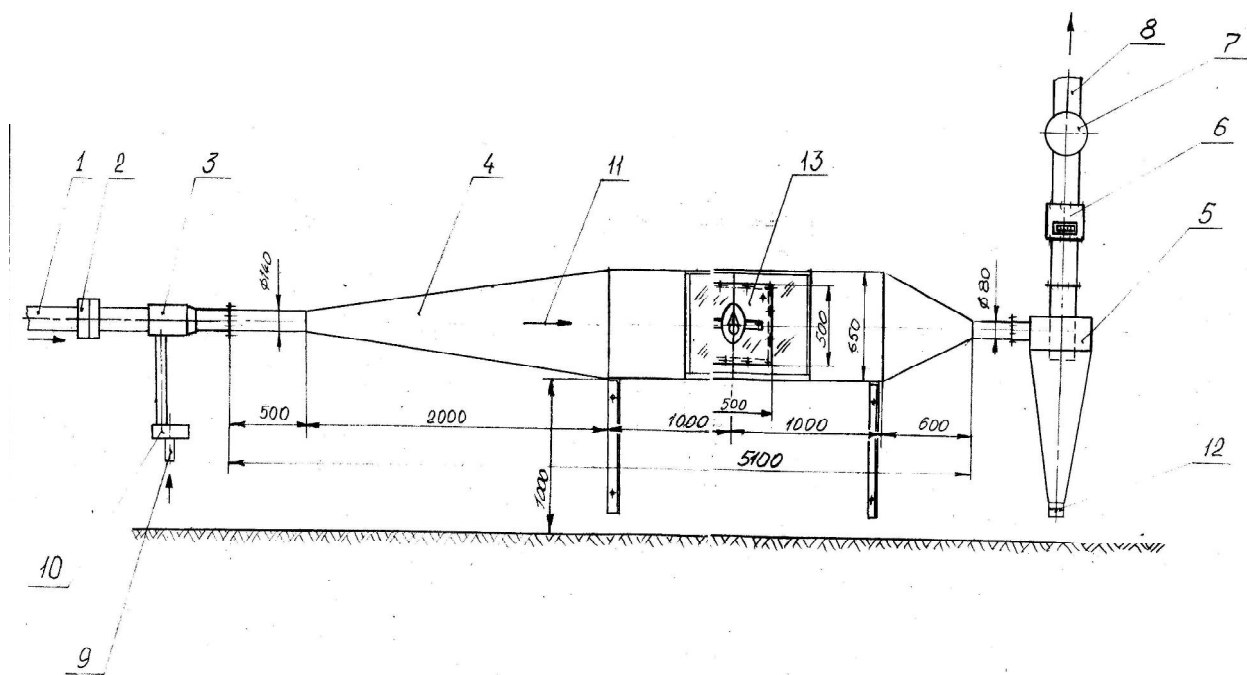


Рис. 1. Загальний вигляд випробувального стенду: 1, 9 – вхідний патрубок від компресора; 2 – фільтр; 3 – ежектор; 4 – конус; 5 – циклон; 6 – редуктор; 7, 12 – заслінка; 8 – вихідний патрубок; 10 – генератор пилу; 11 – розподілювач пилу; 11 – випробувальна камера

Перед випробуваннями визначаємо початкову масу аналітичних фільтрів АФА і фільтрувальних елементів респіратора. Засипаємо в бункер генератору підготовлений пил, включаємо пиловий генератор і виходимо на робочий режим. Визначаємо вихідну концентрацію пилу у випробувальній камері. Для цього встановлюємо в алонж, аналітичний фільтр. Включають аспіратор та встановлюємо витрату повітря 2 дм<sup>3</sup>/хв. та секундомір для визначення часу запилення (час запилення 1 хв.).

Концентрацію пилу  $C$ , мг/м<sup>3</sup>, визначаємо за формулою

$$C = \frac{m_1 - m_2}{Vt} 1000, \quad (1)$$

де  $m_1$  – маса запиленого аналітичного фільтру, мг;  $m_2$  – вихідна маса аналітичного фільтру, мг;  $V$  – витрата повітря через фільтр, дм<sup>3</sup>/хв.;  $t$  – час запилення фільтру, хв.

Встановлюємо на спеціальний муляж півмаску з фільтрувальними елементами або фільтрувальну півмаску, а також аналітичні фільтри після півмаски. Приєднуємо аспіратор і приводимо його в дію на визначений період випробувань, витрату повітря встановлюють 95 дм<sup>3</sup>/хв. За допомогою мікроманометра через однакові проміжки часу контролюємо приріст опору дихання.

Опір диханню респіратора або фільтра визначаємо за формулою

$$R = (n_i - n_0)K_1 \quad (2)$$

де  $q_i$  – відлік опору за мікроманометром, мм. вод. ст;  $q_0$  – власний опір мікроманометра мм. вод. ст;  $K_1$  – поправковий коефіцієнт на температуру і атмосферний тиск.

Після досягнення критичного опору дихання, випробування респіратора припиняють за допомогою вимкнення аспіратора і пилового генератора. Запилені фільтр респіратора або фільтрувальну півмаску та аналітичний фільтр, який знаходився після респіратора зважують на вагах для визначення маси накопиченого пилу. Виходячи з різниці між запиленим і чистим фільтрами АФА коефіцієнт проникнення:

$$K_p = \frac{M_1 - M_\phi}{(M_1 - M_\phi) + (M_2 - M_p)} \quad (3)$$

де  $M_1$  – маса запиленого фільтра АФА, г;  $M_2$  – маса запилених фільтрів респіратора, г;  $M_\phi$  – маса фільтра АФА, г;  $M_p$  – маса фільтрів респіратора, г.

Результати досліджень заносять до спеціального журналу.

Для випробувань протипилових респіраторів або вимірювальних приладів, призначених для експлуатації у вугільних шахтах, необхідний щоб вугільний аерозоль, який би максимально наближався до дисперсного складу і концентрації пилу у вугільних шахтах. Зважаючи на велике розмаїття пилу, що зустрічається у вугільних шахтах, повторити всі можливі види розподілу дисперсного складу на установці важко, тому ставилося завдання отримати типовий для основних технологічних процесів аерозоль. Згідно з узагальненими експериментальними даними МакНДІ про дисперсний склад зваженого пилу в гірничих виробках шахт Донбасу при веденні очисних і підготовчих робіт слід орієнтуватися на аерозоль, параметри якого наведені в таблиці 1 [4].

Таблиця 1

Середній процентний вміст маси окремих фракцій зваженого пилу в очисних і підготовчих виробках

Розмір частинок, мкм	менше 5	5 – 10	10 – 30	більше 30	Середній медіанний розмір, мкм
<b>Очисні вибої</b>					
Масова частка частинок, %	9	13	46	32	22
<b>Підготовчі забої</b>					
Масова частка частинок, %	3	5	29	63	38

Для отримання аналогічного або близького до нього розподілу дисперсного складу пилу на запропонованій установці було обрано 4 режими роботи генератору пилу, що відрізнялися витратою повітря, яке подається у випробувальну камеру. Номер режиму відповідав об'ємній витраті в  $\text{дм}^3/\text{хв}$ . При цьому, створювана концентрація пилу в камері залежить від об'ємної витрати повітря і змінювалась, від  $350 \text{ мг}/\text{м}^3$  при об'ємній витраті  $60 \text{ дм}^3/\text{хв}$  до  $1600 \text{ мг}/\text{м}^3$  – при витраті  $300 \text{ дм}^3/\text{хв}$ . Менші значення концентрації пилу можна було отримати збільшенням подачі чистого повітря. Проби для аналізу дисперсного складу відбиралися з пилу, що осів на фільтрі випробуваного респіратору і аналізувалися на установці "Коултер". Вибіркові результати аналізу дисперсного складу пилу наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Дисперсний склад пилу, отриманий на установці

Розмір частинок, мкм		менше 5	5 – 10	10 – 30	більше 30	Середній медіанний розмір, мкм
Масова частка частинок в пробі при різних швидкостях повітряного потоку, %	<b>№1</b>	9	12	49	30	21
	<b>№2</b>	8	11	48	33	22
	<b>№3</b>	4	8	45	41	27
	<b>№4</b>	3	5	30	62	36

Аналіз розподілу дисперсного складу отриманої пилу за даними табл. 2 показує, що за витрати повітря  $300 \text{ дм}^3/\text{хв}$  він співпадає з розподілом в очисних і підготовчих вибоях. При похибка склала не більше 10 % в межах кожної фракції. Підтримання постійного дисперсного складу забезпечується відповідною кількістю пилоутворюючого матеріалу в розміщеного в генераторі, що забезпечує стабільність концентрації випробувального аерозолу протягом трьох годин роботи установки, що є хорошим показником відтворюваності, оскільки тривалість одиничного випробування зазвичай не перевищує десяти хвилин, а серія дослідів включає, як правило, 5 дослідів в різних точках діапазону концентрацій.

**Висновки.** 1. Розроблений стенд для визначення захисної ефективності ЗІЗОД за тест-аерозолем вугільний пил, який відповідає вимогам ДСТУ EN 143:2002 та ДСТУ EN 149:2003.

2. Запропонована методика проведення випробування ЗІЗОД з визначення коефіцієнту проникнення респіраторів та опору дихання і пиломісткості фільтрів.

3. Досліджено декілька режимів роботи стенду з метою визначення максимально близького розподілу пилових частинок у випробувальній камері до їх розподілу в очисних і підготовчих вибоях. Встановлена маса пилоутворюючого матеріалу в генераторі пилу та витрата повітря для забезпечення стабільних показників на протязі всього часу випробувань.

### Список литературы

1. Борисенкова Р. В. Материалы по обоснованию гигиенических требований к методике пылевого контроля в угольных шахтах / Борисенкова Р. В., Лагунова С. И., Луценко Л. А. // Гигиена труда в горнодобывающей промышленности. – М.: Московский НИИ гигиены им. Ф.Ф.Эрисмана, 1978. – С. 46 – 51.
2. Голинько В. И. Универсальный стенд для испытания пылеизмерительной аппаратуры / Голинько В. И. // Разработка месторождений полезных ископаемых, вып. 56. – К.: Техника, 1980. – С. 88 – 90.
3. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / Коузов П. А. – Л.: Химия, 1974. – 280 с.
4. Петрухин П. М. Предупреждение взрывов пыли в угольных и сланцевых шахтах / Петрухин П. М., Нецепляев М. И., Качан В. Н., Сергеев В. С. – М.: Недра, 1974. – 304 с.
5. Спурный К. Аэрозоли / Спурный К., Йех Я., Седлачек Б., Шторх О. – М.: Атомиздат, 1964. – 260 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.  
Надійшла до редакції 09.04.2013*

УДК 614.89

© Ю.Н. Сорока, Ю.Н. Рец, В.А. Гнутов

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ВОСТОК-РУДА»**

Приведены результаты радиационного обследования предприятия ООО «Восток-Руда». Дана оценка радиэкологического состояния предприятия и влияния его на окружающую среду.

Наведено результати радіаційного обстеження підприємства ТОВ «Схід-Руда». Дана оцінка радіоекологічного стану підприємства і впливу його на навколишнє середовище.

The results of the radiological survey of LLC "Vostok-Ruda" are listed. The estimation of company's radiological condition and its impact on the environment is brought.

**Введение.** Впервые залежи железной руды в бассейне реки Желтой описал горный инженер С. Конткевич в «Горном журнале» за 1880 год. Этими сведениями воспользовался горнозаводчик Львов, который совместно с инженером Боруцким открыл первый рудник (карьер) в 1895–1897 годах, на месте которого сейчас расположена воронка обрушения [1]. В начале 20-го столетия в долине реки Желтая действовало несколько рудников: Львовский, Краснокутский, Копыловский, Ольховский, Михайловский, Коллоти, Гантке, Габаевский, Урсати.

В 1904–1907 годах рудники с основными залежами железных руд скупил франко-бельгийская компания «Фершлер», которая назвала их рудником «Желтая Речка». Желтореченское месторождение железных руд разрабатывалось до 1934 года открытым способом. С 1934 г – началась отработка месторождения залежи «Главная» подземным способом. После войны в 1945 году на



Желтореченском месторождении были обнаружены признаки уранового оруденения [2]. В 1948 году на Желтореченском месторождении началась добыча урановых руд. Желтореченское месторождение железных и урановых руд отрабатывалось подземным способом в период с 1948 по 1989 годы. В настоящее время промышленные запасы урановой руды полностью отработаны и осуществляется добыча только железной руды.

В настоящее время на предприятии ООО «Восток-Руда» вводится в эксплуатацию Западный пласт железистых кварцитов. Пласт расположен под городской застройкой и поэтому по проекту предусмотрена отработка запасов в восходящем порядке традиционной этажно-камерной системой разработки с последующей закладкой выработанного пространства.

Многолетняя подземная разработка Желтореченского месторождения урановых руд оказала влияние на загрязнение объектов окружающей среды: воду, почву, воздух. Обрушение в выработанное пространство вышележащих пород на месте погашенного карьера, привели к образованию на земной поверхности воронки обрушения. Она расположена в пределах городской черты г. Желтые Воды Днепропетровской области, что является одним из источников негативного воздействия на экологическую обстановку города и в соответствии с требованиями законодательно-нормативной базы Украины подлежит рекультивации.

**Цель работы.** Целью исследования является оценка радиэкологического состояния горнодобывающего предприятия ООО «Восток-Руда».

**Основное содержание работы.** Длительная добыча железных и урановых руд привела к определенному загрязнению окружающей среды. В связи с этим, на предприятии ООО «Восток-Руда» уделяется большое внимание контролю радиационного состояния окружающей среды, и постоянно проводятся работы по радиэкологическому мониторингу. Изучались основные факторы, влияющие на радиоактивное загрязнение окружающей среды. Одним из главных источников радиоактивного загрязнения является содержание природных радионуклидов в рудах и породах.

В табл. 1 приведено содержание природных радионуклидов в рудах и породах Желтореченского месторождения.

Таблица 1

Содержание природных радионуклидов в железных рудах, породах

№	Наименование руды, горной	Содержание радионуклидов Бк/кг						
		U-238	Th-230	Ra-226	Pb-210	Po-210*	Th-232	K-40
1	Магнетит - амфиболовые сланцы, Среднее	4,1±1,8	5,0±2,5	4,3±2,3	4,12±0,77	4,12±0,77	3,5±1,6	329±107
2	Железистые кварциты, Среднее	2,6±1,1	<5,9	1,81±0,80	2,0±1,1	2,0±1,1	1,29±0,77	147±80
3	Слюдянистые сланцы, Среднее	23,8±2,5	23,2±3,5	22,8±6,8	19,3±5,6	19,3±5,6	30,6±6,4	1212±384

\* - содержание радионуклида принято равновесным со свинцом-210.

Для сравнения в табл. 2 приведены результаты определения природных радионуклидов в пробах руды и пород из шахты им. Артема (г. Кривой Рог).

Результаты определения природных радионуклидов в пробах руды и пород  
в шахте им. Артема

№	Место отбора пробы руды, горной породы и ее наименование	Содержание радионуклидов					
		Pb-210	U-238	Th-230	Ra-226	Th-232	K-40
1	Гор. 1045 м Блок 207. Орт 207 оси. Руда гетит-гематит-мартитовая	34,2±8,6	44,8±11,2	50,8±25,4	98,4±24,6	9,81±2,45	89,4±24,9
	Гор. 1045 м Блок 223. Орт 223 оси. Руда гетит-гематит-мартитовая	18,6±4,7	44,2±11,1	37,3±18,6	84,8±21,2	8,14±2,04	19,8±5,0
2	Гор. 1045 м Блок 223. Со-пряжение орта 223 оси с штреком Западным полевым. Роговик гематит-мартитовый	72,3±18,1	64,3±16,1	119±36	90,5±22,6	64,7±16,2	706±177
3	Гор. 1045 м. Руддвор шх. Слепая-9. Кварцит силикат-магнетитовый	4,60±1,15	1,5±0,4	4,75±2,38	4,23±1,06	5,60±1,40	33,9±8,5
	Гор. 1005 м. Руддвор шх. Слепая-9. Кварцит силикат-магнетитовый	19,6±4,9	5,51±1,38	4,07±2,04	12,0±3,0	6,26±1,57	23,7±5,9
4	Гор. 1135 м. Руддвор ств. шх. Восточная. Гранит плагиоклазовый	28,3±8,1	15,2±4,5	41,8±16,3	7,8±2,2	23,2	316±102
5	Гор. 1135 м. Порожняковский квершлаг. Сланец тальковый	5,19±1,56	3,06±0,92	5,39±1,5	1,78±0,5	3,2±1,0	63±21
	Среднее	25,4±7,62	23,7±7,12	32,6±9,8	39,4±11,8	16,7±5	195,6±58,7

Сравнение данных табл. 1 и 2 показывает, что нет значимых различий в активности природных радионуклидов в породах и рудах из этих двух месторождений. Данные руды и породы вследствие эманации создают в подземных условиях повышенные концентрации радиоактивных газов радона и торона. Были выполнены измерения основных радиационно-опасных факторов (ЭРОА радона-222, ЭРОА радона-220 и мощности дозы) в подземных выработках шахты «Новая» (Табл.3.)

Полученные результаты показывают, что, в основном, условия труда на рабочих местах не полностью удовлетворяют нормам по ЭРОА радона-222 и ЭРОА радона-220, и равным, соответственно, 60 Бк/м<sup>3</sup> и 10 Бк/м<sup>3</sup>. В соответствии с этим в шахте «Новая» регулярно осуществляется радиационный мониторинг рабочих мест[3]. После переработки железной руды в хвостохранилище «Р» отправляются гидротранспортом хвосты. Содержание природных радионуклидов в хвостах приведено в табл. 4.

Таблица 3

ЭРОА радона и торона в подземных выработках шахты «Новая»

№	Место отбора проб	Дата измерения	ЭРОА радона-222, Бк/м <sup>3</sup>	ЭРОА радона-220, Бк/м <sup>3</sup>	Мощность дозы, мкЗв/час
1	Гор. 405 м Подстанция	12.12.2011	175,4	0,909	0,10
2	Гор. 475 м штр. Полевой вент. Подстанция №1		291,4	2,614	0,24
3	Гор. 405 м штр. Рудный Блок ЗП11 бурение восстающего		82,80	1,982	0,14
4	Гор. 513 м штр. транспортный проходческий забой		43,03	1,277	0,07
5	Гор. 535 м орт буровой блок ЗП11		17,35	0,433	0,07
6	Гор. 545 м штр. Откаточный 76 ось		11,68	0,717	0,08
7	Гор. 545 м ДБК, опрокид		1140	0,37	0,11

Таблица 4

Удельная активность природных радионуклидов в пульпе хвостохранилища «Р»

№ пробы	Активность, Бк/кг					
	Ra-226	Pb-210	Po-210	Th-232	K-40	A <sub>эф</sub>
1	43,4	47,2	44,58	32,4	421	121,6
2	43,0	39,1	30,3	45,4	490	144,1
3	20,7	8,96	7,32	12,1	600	87,5
4	44,2	52,7	25,3	41,1	425	134,5
5	40,0	48,2	38,4	8,92	30,2	54,2
6	38,5	48,6	30,4	43,1	563	142,8
7	39,0	32,5	24,4	37,5	494	130,1

Активность хвостов значительно увеличена по отношению к руде (железистым кварцитам), что связано с использованием шахтной воды, обогащенной радионуклидами, и разубоживанием руды породами с повышенным содержанием радионуклидов. Откачиваемые из шахты «Новая» ООО «Восток-Руда» шахтная вода поступает в хвостохранилище «Р» и там смешивается с хвостовой пульпой. Основное загрязнение воды обусловлено U-238 и U-234, а другие природные радионуклиды, в основном, изменяются в небольших пределах. На рис.1 приведены результаты изменения U-238 в течение 2004-2013 годов в воде хвостохранилища «Р».

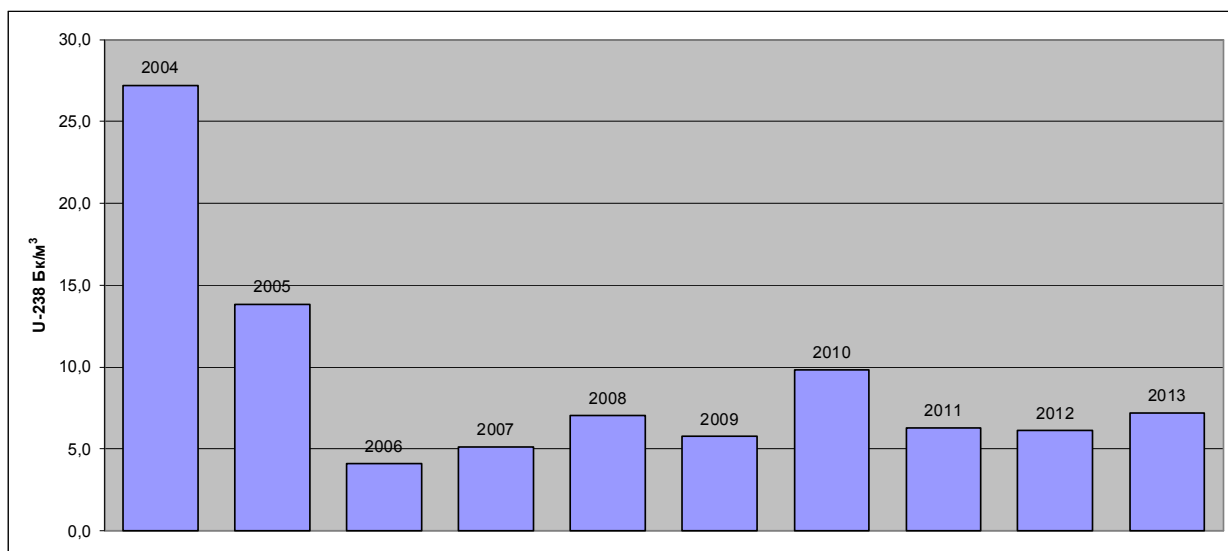


Рис. 1. Динамика изменения концентрации U-238 в воде хвостохранилище «Р» в течение 2004–2013 годов

В табл. 5 приведены результаты измерения активности природных радионуклидов в грунтах в районе г. Желтые Воды и шахты «Новая» ООО «Восток-Руда».

Таблица 5

Активность грунтов в районе г. Желтые Воды

№	Проба	Дата отбора	Активность природных радионуклидов, Бк/кг							
			U-234	U-238	U-235	Po-210	Pb-210	Ra-226	Th-232	K-40
1	Обрыв шахты «Новая»	Апр 2007	27,8±7,0	31,6±7,9	<1,0	38,4±9,6	35,2±8,8	34,5±8,6	40,5±10,1	543±136
2	Колодец 2		22,2±5,6	35,9±9,0	<0,7	33,9±8,5	33,0±8,3	32,5±8,1	40,0±10,0	572±143
3	Посадка	Июнь 2007	27,1±6,8	26,5±6,6	<0,7	47,0±11,8	63,1±15,8	32,3±8,1	36,8±9,2	503±126
4	1 км к югу от "Ц"	Авг 2007	21,1±5,3	19,2±4,8	1,92±0,48	28,3±7,1	35,2±8,8	30,6±7,7	42,5±20,7	569±142
5	1 км к северу от "Ц"		31,8±8,0	25,1±6,3	<0,9	32,6±8,2	43,7±10,9	34,0±8,5	41,6±10,4	558±140
6	1 км к западу от "Ц"		30,7±7,9	31,2±7,8	3,84±1,92	38,5±9,6	49,6±12,4	37,4±9,4	39,4±9,9	536±134

Данные этих анализов показывают, что не наблюдаются значительные различия в активности почв в разных районах городской территории и на территории шахты.

Кроме этого были выполнены исследования загрязненности территории района шахты радоном. Для измерения радона применялся трековый метод, для измерения мощности эквивалентной дозы дозиметр ДКС-96, а для измерения ЭРОА радона-220 – радиометр РГА-09

Результаты измерений мощности эквивалентной дозы внешнего гамма излучения и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона-220 (торона) в воздухе района провальной воронки шахты «Новая» приведены в табл. 6, точки измерения приведены на рис 2.

Таблица 6

Результаты измерений мощности эквивалентной дозы внешнего гамма излучения и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона-220 (торона) в воздухе района провальной воронки шахты «Новая»

№ п/п	Место измерения в районе провальной воронки	МЭД, мкЗв/час	ЭРОА радона-220, Бк/м <sup>3</sup>
1	Северная часть	0,161±0,032	0,64±0,32
2	Восточная часть	0,147±0,030	0,33±0,15
3	Западная часть	0,162±0,033	0,66±0,33
4	Южная часть	0,171±0,034	0,41±0,18
5	Северо-запад	0,200±0,040	0,71±0,36
6	Северо-восток	0,178±0,036	0,38±0,18
7	Юго-запад	0,174±0,035	0,31±0,15
8	Юго-восток	0,180±0,036	0,45±0,21

При обследовании не обнаружены уровни ЭРОА радона-220 (торона), мощности поглощенной в воздухе дозы внешнего гамма-излучения, превышающие референтные значения, установленные “Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности Украины”. Для производственных помещений эти значения составляют 60 Бк/м<sup>3</sup>, (10 Бк/м<sup>3</sup>), 0,8 мкГр/ч (0,8 мкЗв/ч) соответственно и обеспечивают соблюдение не превышения эффективной дозы в 1 мЗв в год. Результаты определения объемной активности радона представлены в табл. 7.

Таблица 7

Результаты измерения объемной активности радона, г.Желтые Воды

Точка уст.	Объемная активность радона, Бк/м <sup>3</sup>
т.19	18,60
т.20	10,72
т.21	18,84
т.25	16,69
т.26	16,72
т.28	10,05
т.29	13,55
т.30	21,42
т.31	23,00
т.32	14,13
т.33	18,04

\*Погрешность определения объемной активности радона составляет не более 25%.

На рис. 2 приведено расположение мест и величины объемной активности радона района шахты «Новой».



Рис. 2. Объемная интегральная активность радона - район шахты «Новой» (ноябрь-декабрь 2012 года)

⊙<sup>21</sup> (21,42) – номер точки измерения интегральной активности радона и концентрация радона в этой точке, Бк/м<sup>3</sup>;

●<sup>4</sup> - номер точки измерения ЭРОА радона -220, Бк/м<sup>3</sup>.

Концентрация радона в районе шахты «Новая» невысокая и несколько ниже, чем в центре г. Желтые Воды, где ранее для строительства использовались отходы добычи урановых руд.

#### Выводы:

1. На шахте «Новая», которая раньше добывала урановые руды, в настоящее время сложилось удовлетворительное радиологическое состояние.

2. Не наблюдается радиационного загрязнения объектов окружающей среды (почвы, воздуха, воды) природными радионуклидами, связанными с деятельностью предприятия ООО «Восток-Руда».

3. На предприятии ведется радиоэкологический мониторинг, позволяющий отслеживать радиационное состояние объектов окружающей среды и исключающий создание радиационной аварии.

#### Список литературы

1. Желтым Водам – 100, Пригожин Ю.И., Калюжный Н.И., Кривоносов Ю. М., Меркушев Н.А., Днепропетровск “СІЧ”, 1995г.- 118с.
2. Добыча и переработка урановых руд в Украине: Монография. – К.: «АФЕД-Украина», 2001.-238с.
3. Контроль радіаційної обстановки на залізорудних шахтах України. СОУ-Н МПП 17.240-046:2005 Мінпромполітики України, 2005.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.  
Надійшла до редакції 30.05.2013*

УДК 504.064.36:550.4

© А.А. Коваленко, А.В. Павличенко

### **ДОСЛІДЖЕННЯ МІГРАЦІЙНОЇ АКТИВНОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ТЕРИТОРІЯХ РОЗМІЩЕННЯ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ**

Проаналізовані особливості впливу породних відвалів на рівні забруднення об'єктів навколишнього середовища. Встановлені особливості міграції важких металів з породних відвалів залежно від їх внутрішнього та зовнішнього фізико-хімічного стану.

Проанализированы особенности влияния породных отвалов на уровни загрязнения объектов окружающей среды. Установлены особенности миграции тяжелых металлов из породных отвалов в зависимости от их внутреннего и внешнего физико-химического состояния.

The features of the impact of waste dumps on the contamination level of environment are analyzed. The peculiarities of heavy metals migration from waste dumps based on their internal and external physical and chemical state are established.

Відходи вугільного виробництва в більшості випадків являють собою масштабні техногенно-створені джерела постійного негативного впливу на об'єкти навколишнього середовища. Аналіз досліджень М.П. Зборщика, Л.Г. Зубової, В.В. Осокіна, Л.О. Петрової, М.Ф. Смирного та інших дозволяє зробити висновок, що на всіх етапах існування породних відвалів – з моменту видачі відвальної маси на поверхню до згасання внутрішніх та зовнішніх фізико-хімічних, мінералоутворюючих, біологічних та інших процесів – відбувається поступове внутрішнє нагрівання породних мас, окислення нестійких сполук, вилуговування активних елементів, кислотне стікання новоутворених розчинів, повітряна та водна ерозія схилів відвалів тощо [1, 2].

За даними В.С. Мельникова, відходи вугільного виробництва в більшості випадків представлені грубоуламковою сумішшю аргілітів, алевролітів, піщаників, піритизованих та інших різновидів порід [3]. Суміш мінералів різного походження та періоду утворення значною мірою визначає вище описані деградаційні процеси, які відбуваються одночасно для всіх компонентів. При вивченні внутрішніх та зовнішніх особливостей, притаманних породним масам, виникають проблеми, пов'язані саме з комплексними перетвореннями у відва-

лах, адже більшість реакцій проходять одночасно, нівелюючи або підсилюючи хімічну активність окремих компонентів.

Продукти фізико-хімічних перетворень являють собою переважно кислоти та лужні розчини, солі важких металів, органо-мінеральні комплекси та інші сполуки, не притаманні даній території та її природним циклам хімічних речовин. Утворені агресивні сполуки дренуються у верхні, а потім і в глибокі шари ґрунту, залучаються до кругообігів речовин і потрапляють у поверхневі та підземні води, що сприяє міграції токсичних компонентів та погіршує загальний екологічний стан території (А.Ф. Горовий, Т.І. Долгова, Н.А. Шевчук).

Головна небезпека винесення важких металів з техногенно-створених осередків обумовлена їх здатністю депонуватися у ґрунтах та накопичуватися у живих організмах, що призводить до вкрай небезпечних наслідків [4]. За даними Гришка В.М. важкі метали у ґрунтах знаходяться як у твердій фазі, так і в розчиненому стані, при цьому існує певна рівновага між цими формами, яка може порушуватися при потраплянні надмірної кількості насичених хімічними елементами сполук.

Винесення важких металів з відвальних порід відбувається поступово і залежить від комплексу факторів. З одного боку, породний відвал є сумішню утворених мільйони років тому мінералів з хімічно зв'язаними компонентами, з іншого – його характеристики залежать від нових зовнішніх (зміна тиску, температур, циркуляція повітря, атмосферні опади, сонячна радіація, включення до біологічних ланцюгів тощо) та внутрішніх перетворень (інтенсифікація фізико-хімічних реакцій у збагаченому киснем середовищі, ущільнення порід, самонагрівання та самозаймання внутрішніх шарів відвалу, мікробіологічна активність, вивільнення продуктів внутрішніх реакцій через пори та тріщини тощо). Важкі метали входять до складу сольових розчинів, які стікають схилами, дренуються безпосередньо з тіла відвалу у ґрунти та гідрологічну мережу. Окрім того, забруднення довкілля вугледобувних регіонів важкими металами відбувається за рахунок повітряної ерозії, оскільки видування пилових часток з відвальної породи призводить до їх осідання на прилеглих територіях.

Однак невирішеними залишаються питання, які стосуються особливостей міграції важких металів різних класів безпеки в залежності від стану відвалів, а саме: стадій внутрішніх та зовнішніх фізико-хімічних перетворень, штучного або природного втручання в перебіг процесів, порушення цілісності тіла та схилів раніше створеного відвалу тощо.

**Метою** роботи є дослідження особливостей міграції важких металів, які відносяться до різних класів безпеки, з породних відвалів вугільних шахт у ґрунти прилеглих територій.

Для досягнення мети вирішувались такі задачі: визначення категорії породних відвалів, яка характеризує їх зовнішній та внутрішній стан, відбір проб порід та ґрунтів, проведення їх хімічного аналізу та визначення концентрацій елементів у зразках, аналіз отриманих даних та визначення основних особливостей міграції важких металів.

Дослідження проводилися на території розташування породних відвалів вугільної шахти ім. Я.М. Свердлова. Всі об'єкти дослідження знаходяться у межах



селітебної зони м. Свердловськ Луганської області. За результатами візуального обстеження породних відвалів були виявлені ділянки з активними процесами вилуговування та кислотного стікання агресивних розчинів поверхнею схилів. Інтенсивна повітряна ерозія проявлялася у винесенні пилу зі схилів відвалів, а також підвищеному вмісті зважених часток у повітрі прилеглих територій. Про процеси горіння відвальної маси свідчила підвищена температура порід в місцях виходу на поверхню диму та газів, які мали різкий аміачний та сірчаний запах.

Відвали були умовно розділені на категорії, які характеризують зовнішній та внутрішній стан порід (таблиця 1).

Таблиця 1

Класифікація категорій породних відвалів

Категорія	Характеристика стану відвалу
I	Відвал на стадії затухання внутрішніх та зовнішніх фізико-хімічних процесів
II	Відвал на стадії затухання фізико-хімічних процесів за умов порушення цілісності тіла відвала та оголення внутрішніх порід
III	Відвал на стадії затухання фізико-хімічних процесів за умов внесення свіжої відвальної породи

На досліджуваній території було проведено відбір зразків відвальної породи, ґрунтів біля підніжжя відвалів та на відстані 100 м. Для визначення концентрацій важких металів у пробах використовувався метод атомно-абсорбційної спектрофотометрії. Рухома форма важких металів визначалася за допомогою буферної амонійно-ацетатної витяжки з рН 4,8. Важкими металами першого класу небезпеки, які аналізувалися, були цинк (Zn) та свинець (Pb), другого класу небезпеки – мідь (Cu) та кобальт (Co), третього класу небезпеки – марганець (Mn) (ГОСТ 17.4.1.02-83) [5].

Для виявлення закономірностей міграції важких металів було проаналізовано їх вміст з південної сторони світу за трьох умовних станів породних відвалів.

Важкі метали першого класу небезпеки у дослідженні представлені цинком (Zn) та свинцем (Pb). Сполуки цинку у більшості випадків за звичайних умов добре розчиняються у кислому та лужному середовищах з утворенням відповідних солей, і малорозчинні у воді. У вологому повітрі, особливо у присутності газу CO<sub>2</sub>, відбувається руйнування металу навіть при звичайних температурах. Це пояснюється тим, що на поверхні цинку при реакції з водою утворюється практично нерозчинний гідроокис цинку, який перешкоджає подальшому перебігу реакції. Вміст цього важкого металу в ґрунтах значно коливається і залежить від багатьох факторів (материнської породи, реакції ґрунтового розчину, вмісту органічної речовини та її характеристиками тощо).

Свинець має перемінну валентність, низьку розчинність гідроокислів і високу здатність утворювати складні комплексні сполуки. При впливі повітряних потоків, води і різних кислот свинець виявляє велику стійкість, проте легко витісняється іншими металами з розчинів його солей, тому є дуже небезпечним. Інтенсивно поглинається кореневою системою рослин та накопичується в них.

Для встановлення особливостей міграції важких металів I класу небезпеки були визначені концентрації рухомої форми Zn та Pb, представлені на рис. 1.



Рис. 1. Концентрації рухомої форми цинку (Zn) та свинцю (Pb) (I – відвал на стадії затухання внутрішніх та зовнішніх процесів, II – відвал на стадії затухання фізико-хімічних процесів за умов порушення цілісності тіла відвала та оголення внутрішніх порід, III – відвал на стадії затухання фізико-хімічних процесів за умов внесення свіжої відвальної породи)

Наведені дані свідчать про те, що концентрація важких металів Zn та Pb у відвалі на стадії затухання внутрішніх та зовнішніх процесів не перевищує ГДК, метали зосереджені у відвальній породі і поступово мігрують у ґрунти, при цьому спостерігається більш інтенсивне винесення свинцю і його значне накопичення у навколишніх ґрунтах.

Відвал II категорії має іншу тенденцію розподілу важких металів. Спостерігаються майже однакові концентрації металів у породі з проявами вивітрювання та у ґрунтах біля підніжжя відвалу, що говорить про наближення хімічних характеристик ґрунту до пустих порід, що викликає занепокоєння екологічним станом даної території.

Міграція Zn з відвалу III категорії відбувалася поступово, і за роки існування відвалу цинк включався у біохімічні ланцюги оточуючого середовища. Проте внесення свіжої відвальної породи призвело до небажаних наслідків, коли концентрація важкого металу у ґрунтах на відстані 100 м від джерела забруднення перевищує цей показник у перегорілій породі у 8 разів, при цьому свіжа порода є джерелом потрапляння цинку у довкілля. Що стосується свинцю, то у відвалі даної категорії його концентрації перевищують ГДК як у перегорілій

породі (у 1,9 рази), так і у свіжій (у 4,2 рази). Враховуючи вище наведені фізико-хімічні характеристики Pb, варто очікувати підвищення вмісту важкого металу у навколишніх ґрунтах.

До важких металів II класу небезпеки належать мідь (Cu) та кобальт (Co). Мідь – порівняно мало активний важкий метал. У сухому повітрі за звичайних умов мідь не окислюється, досить легко вступає в реакції з сіркою та галогенами, проте з вуглецем, азотом і воднем не взаємодіє навіть при високих температурах. Мідь реагує з кислотами, які мають окисні властивості.

Кобальт – важкий метал, який не окислюється у повітрі, проте в розведених сірчаній та соляній кислотах повільно розчиняється з інтенсивним виділенням водню і утворенням солей. Всі солі кобальту добре розчиняються у воді. При нагріванні важкий метал взаємодіє з вуглецем, кремнієм, сіркою та іншими елементами, та проявляє валентність від +1 до +6.

Результати визначення концентрацій важких металів II класу небезпеки представлені на рис. 2.



*Рис. 2.* Концентрації рухомої форми міді (Cu) та кобальту (Co) (I – відвал на стадії затухання внутрішніх та зовнішніх процесів, II – відвал на стадії затухання фізико-хімічних процесів за умов порушення цілісності тіла відвала та оголення внутрішніх порід, III – відвал на стадії затухання фізико-хімічних процесів за умов внесення свіжої відвальної породи)

Згідно з отриманими даними (рис. 2) вміст міді у породі майже у всіх умовних категоріях відвалів перевищує ГДК (окрім відвалу II категорії, де концентрація металу 2,25 мг/кг, при ГДК 3 мг/кг), проте за рахунок порівняно ма-

лої хімічної активності міграція міді у навколишні ґрунти незначна для всіх трьох категорій відвалів.

Протилежна ситуація спостерігається стосовно кобальту: відвал на стадії затухання внутрішніх та зовнішніх процесів є джерелом значного винесення металу до ґрунтів, де його концентрація менше, ніж у породі, лише на 35%. Активна міграція з порід до навколишнього середовища призвела до перевищення його концентрацій відносно джерела розповсюдження у 3 рази в ґрунтах біля підніжжя, та в 4 рази на відстані 100 м від відвалу з порушеною цілісністю та оголеними внутрішніми породами. Така ж тенденція спостерігається і в районі розташування відвалу III категорії: концентрація металу у ґрунтах в 6 разів вища за цей показник у перегорілій породі, при цьому варто брати до уваги можливість потрапляння важкого металу зі свіжої породи з вмістом Co – 5,07 мг/кг, що перевищує показник ГДК.

До важких металів III класу небезпеки відноситься марганець (Mn). Він малорухливий в окислювальному середовищі і енергійно мігрує у відновних умовах. Хімічно досить активний, при нагріванні взаємодіє з неметалами – сіркою, вуглецем, киснем, азотом та ін. За звичайних умов дуже повільно реагує з водою, легко розчиняється у кислотах, утворюючи солі. Концентрації марганцю представлені на рис. 3.



Рис. 3. Концентрації рухомої форми марганцю (Mn)

(I – відвал на стадії затухання внутрішніх та зовнішніх процесів, II – відвал на стадії затухання фізико-хімічних процесів за умов порушення цілісності тіла відвала та оголення внутрішніх порід, III – відвал на стадії затухання фізико-хімічних процесів за умов внесення свіжої відвальної породи)

Аналіз даних рис. 3 виявив поступове винесення рухомих сполук марганцю з породи та його накопичення в ґрунтах. Більша частина рухомого марганцю знаходиться в породі. При внесенні свіжої породи до вже перегорілої відбувається

активація хімічних реакцій та винесення елемента в навколишні ґрунти. Хоча концентрація важкого металу не перевищує показник ГДК, проте відвали як на стадії затування фізико-хімічних процесів, так і при внесенні свіжої породи є чинником, який посилює екологічну небезпеку процесу вуглевидобутку для довкілля.

Проведені дослідження дозволили зробити наступні **висновки**:

- відвали являють собою постійне джерело додаткового екологічного навантаження, незалежно від внутрішнього та зовнішнього стану порід;
- тенденція повільного та поступового винесення важких металів з відвалів на стадії затування внутрішніх та зовнішніх процесів порушується при технологічному втручанні (оголенні внутрішніх порід, привнесенні свіжої породи), що призводить до інтенсифікації процесів міграції забруднювачів;
- залежно від фізико-хімічних властивостей підвищується активність важких металів, спостерігається їх накопичення у навколишніх ґрунтах;
- важкі метали I класу небезпеки (Zn, Pb) мають майже однакові концентрації металів у породі з проявами вивітрювання та у ґрунтах біля підніжжя відвалу, що говорить про наближення хімічних характеристик ґрунту до пустих порід, що викликає занепокоєння екологічним станом даної території;
- міграція важких металів II класу небезпеки характеризується незначним винесенням малоактивного Cu, і активною міграцією Co, вміст якого перевищує концентрації відносно джерела розповсюдження у 3 рази в ґрунтах біля підніжжя, в 4 рази на відстані 100 м від відвалу з оголеними внутрішніми породами, та у 5 разів у ґрунтах, прилеглих до відвалу з підсипаною свіжою породою;
- міграція важкого металу III класу небезпеки (Mn) з відвальної породи у навколишні ґрунти відбувається поступово, з підвищенням активності у відвалах, що зазнали технологічного втручання;
- результати дослідження свідчать про необхідність розробки заходів щодо зниження інтенсивності міграції важких металів та переведення їх у неактивну форму, що покращить екологічний стан навколишнього природного середовища у гірничодобувних регіонах.

#### Список літератури

1. Петрова Л.О. Воздействие на окружающую среду отходов угледобычи и углепереработки / Л. О. Петрова // Геологический журнал. - 2002. - № 2. - С.81-87.
2. Зборщик М.П. Предотвращение самовозгорания горных пород. / М.П. Зборщик, В.В. Осокин. - К.: Техника, 1990. – 176 с.
3. Мельников В.С. Минералогенезис в горящих угольных отвалах: фундаментальные и прикладные аспекты неоминералогии / В.С. Мельников, Е.Е. Греченовская // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: „Гірничо-геологічна”. Випуск 81 / Редкол.: Башков Є.О. (голова) та інші. — Донецьк, ДонНТУ, 2004. – с. 30-36
4. Екологічна безпека ґрунтів у гірничодобувних районах: монографія / Т.І. Долгова. – Дніпропетровськ: НГУ, 2009. – 170 с.
5. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения: ГОСТ 17.4.1.02-83. – [Действующий от 1985-01-01]. – Москва: Стандартинформ, 2008. – 4 с. – (Межгосударственный стандарт)

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.  
Надійшла до редакції 16.04.2013*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОБЛЕМ АТМОСФЕРИ м. ДНІПРОПЕТРОВСЬКА ВІД АВТОТРАНСПОРТУ ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ДЛЯ ЇХ ЗМЕНШЕННЯ

В роботі візуально визначено інтенсивність руху автотранспорту та виконано розрахунки кількісного складу шкідливих речовин з використанням статистичних питомих викидів на вулицях міста. Запропоновані рекомендації для зменшення аерогенного навантаження в місті стосовно транспорту, систем управління та деяких заходів регулювання газозахисного режиму.

В работе выполнен визуальный подсчет интенсивности движения автотранспорта и выполнены расчеты количественного состава вредных веществ с использованием статистических удельных выбросов на улицах города. Предложены рекомендации для уменьшения аэрогенной нагрузки в городе относительно транспорта, систем управления и некоторых мероприятий регулирования газозащитного режима.

In work the visual count of intensity of motion of motor transport and calculations of quantitative composition of harmful matters is executed with the use of the statistical specific troop landings in the streets of city. Taking into account it measures are offered and recommendations are developed for diminishing of the aerogene loading in town in relation to a transport and motor transport of enterprises, control, designings measures of adjusting of the gazozakhisnogo mode, a transport systems.

**Вступ.** Якість атмосферного повітря – це один з основних екологічних показників стану навколишнього середовища. Велика кількість шкідливих речовин потрапляє в атмосферу з вихлопними газами автомобілів, причому ці викиди постійно зростають.

Збільшення викидів забруднюючих речовин, перш за все, зумовлено збільшенням кількості автотранспорту в місті, погіршенням технічного стану автомобільного парку, незадовільною якістю палива, відставанням темпів розвитку вулично-шляхової мережі, труднощами щодо контролю великої кількості автотранспорту як джерела забруднення атмосфери (приватний автотранспорт, транзит), недостатньо розвиненою законодавчою базою для ефективного управління автотранспортом та його рухом.

Транспорт як галузь народного господарства – один із наймогутніших чинників антропогенного впливу на довкілля. Деякі види цього впливу, насамперед забруднення повітря і посилення шуму, належать до найсерйозніших техногенних навантажень на компоненти довкілля окремих регіонів, особливо великих міст. Тому роботи в даному напрямку актуальні практично для всіх промислових міст і потребують детального вивчення для зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище.

**Постановка задачі.** З метою визначення оптимальних з екологічної, технічної та економічної точки зору підходів до вирішення проблем забруднення атмосфери автотранспортом в рамках м. Дніпропетровська виконано дослідження та запропоновані рекомендації щодо зменшення аерогенного навантаження в місті стосовно транспорту.

Велике значення для зменшення забруднення атмосферного повітря відпрацьованими газами має повсякденний технічний контроль стану автомобіля.

Усі автотранспорту зобов'язані стежити за станом випущених на лінію машин. При правильно та належним чином відрегульованому двигуні у відпрацьованих газах вміст оксидів вуглецю має бути не більше допустимої норми.

Як приватні рішення захисту повітря від вихлопних газів автомобілів можна вказати на установку фільтрів і пристроїв, що допалюють, заміну добавок, що містять свинець, раціональну організацію руху транспорту, що зменшить і виключить часту зміну режимів роботи двигунів (дорожні розв'язки, розширення дорожнього полотна, будівництво переходів і т.д.).

Кардинально проблема може бути вирішена при заміні двигунів внутрішнього згоряння на електричні. Для зменшення токсичних речовин у вихлопних газах автомобілів пропонується заміна бензину іншими видами пального, наприклад сумішшю різних спиртів. Перспективні газобалонні автомобілі.

Велике значення має озеленення міст і промислових центрів: зелені насадження за рахунок фотосинтезу звільняють повітря від двооксиду вуглецю й збагачують його киснем. На листах дерев і чагарників осідає до 72 % зважених часток пилу й до 60 % двооксиду сірки. Тому в парках, скверах і садах у повітрі втримується пилу в десятки разів менше, ніж на відкритих вулицях і площах. Багато видів дерев і чагарників виділяють фітонциди, що вбивають бактерії. Зелені насадження значною мірою регулюють мікроклімат міста, «гасять» міський шум, що приносить величезну шкоду здоров'ю людей.

Для підтримки чистоти повітря велике значення має планування міста. Фабрики й заводи, транспортні магістралі повинні відділятися від житлових кварталів буферною зоною, складаючись із зелених насаджень. Необхідно враховувати напрямки основних вітрів (троянду вітрів), рельєф місцевості й наявність водойм, розташовувати житлові квартали з підвітряної сторони й на піднесених ділянках. Промислові зони краще розміщати вдалині від житлових кварталів або за межами міста.

Метод дослідження – візуальне визначення інтенсивності руху автотранспорту та розрахунки кількісного складу шкідливих речовин з використанням статистичних питомих викидів на вулицях міста.

**Результати роботи.** Екологічні проблеми, що виникли у зв'язку з функціонуванням транспортної системи в Україні, є наслідком діяльності не лише окремих видів транспорту, а й інших галузей народного господарства. Це передусім структура та існуючі конструкції транспортних засобів, покриття і якість експлуатації шляхів тощо. Проблема зниження забруднення атмосфери ускладнюється щорічним ростом темпів автомобілізації, що викликає збільшення інтенсивності руху, збільшення викидів токсичних речовин, а також ріст витрат палива на одиницю транспортної роботи або перевезення одного пасажера. Основні характеристики транспортного потоку (інтенсивність, структура, швидкість і нерівномірність руху) впливають на рівень загазованості вулично-дорожньої мережі міста. Ріст інтенсивності руху не тільки впливає на кількісне збільшення джерел викидів, але й одночасно приводить до зміни обсягу й токсичності викиду окремим автомобілем через його взаємодію із транспортним потоком. Основними забруднювачами атмосфери в містах є транспортні засоби із двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ).

Головним завданням представленої роботи є визначення негативного впливу автотранспорту на атмосферне повітря міста, що, в свою чергу, впливає на життя і здоров'я людини, визначення шляхів та розробка методів для зменшення цього впливу, покращення стану атмосфери.

Визначення інтенсивності руху автотранспорту проводилось за відомим методом [1] засобом візуального підрахунку кількості автотранспортних одиниць, зокрема вантажних автомобілів, автобусів, легкових та маршрутних таксі терміном 20 хвилин з послідуочим перерахунком на один час в часи найбільшого навантаження, а саме зранку о сьомій до восьмої години, з дванадцятої до тринадцятої та з вісімнадцятої до дев'ятнадцятої годин. Враховуючи, що навантаження вулиць транспортом різне посезонно, дослідження виконано в жовтні, грудні та березні місяцях. В даній роботі представлені результати спостережень та розрахунків на прикладі перехрестя вул. Героїв Сталінграду та вул. Вакуленчука. Результати спостережень та усереднені дані за добу (з сьомої до дев'ятнадцятої години) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Зведені дані інтенсивності руху автотранспорту з 7–19 години на перехресті вул. Героїв Сталінграду та Вакуленчука, 2009–2010 р.  
(усереднені показники за типом транспорту, од/год.)

День тижня	Інтенсивність руху, од/год.				Сумарна кількість, од/год. (всього транспорту)
	Вантажівки до 2т.*	Автобуси	Легкові автомобілі	Маршрутні таксі	
Жовтень, середа	126	13,3	1909,6	180,3	2229
Жовтень, субота	65,3	7,3	1358	142,3	1573
Грудень, середа	99,6	10,6	1654	120,3	1885
Грудень, субота	45,3	5,33	1159	100,3	1310
Березень, середа	136	13,6	2072	191	2413
Березень, субота	71,6	9	1463,6	162	1706

\*) важкі вантажні автомобілі на цьому перехресті вулиць відсутні

Як показали дослідження, найбільш інтенсивний рух відмічається з 18 до 19 години, причому з жовтня до грудня інтенсивність падає (загальна інтенсивність у жовтні серед неділі складала 3151, в тому числі легкових 2806 одиниць за годину, а в грудні відповідно 2701 та 2432), і в березні збільшується (згідно середніх показників серед неділі інтенсивність складала 3396, в тому числі легкових 3024 одиниць за годину).



Аналіз одержаних даних показує, що завантаження перехрестя вул. Героїв Сталінграду та Вакуленчука восени 2009 та навесні 2010 року автотранспортом лежить у межах понад 18–27 тис., отже інтенсивність руху згідно ГОСТ 17.2.2.03 – 77 висока [1]. Це пояснюється значним переміщенням людей, що користуються транспортними засобами, у професійних та навчальних потребах. У вихідні інтенсивність руху зменшується вдвічі, що можна пояснити, припустивши, що більшість людей мають 5-ти денний робочий тиждень і два вихідні дні.

Така інтенсивність руху на вулицях є небезпечною через значні викиди шкідливих речовин від автотранспорту і становить загрозу навколишньому природному середовищу міста.

В роботі виконано розрахунок концентрації СО по прийнятим методикам [1] в залежності від сезону року, години доби, дня тижня. Характер зміни концентрації СО залежить від інтенсивності руху транспорту. При цьому у всіх випадках визначена концентрація перевищує ГДК у 3–16 рази при максимальній разовій  $5\text{мг/м}^3$ . В якості приклада наведені одержані дані за жовтень 2009 р. на вказаному перехресті (таблиця 2).

Таблиця 2

Концентрація СО,  $\text{мг/м}^3$  в залежності від години доби та дня тижня: перехрестя вул. Героїв Сталінграду та Вакуленчука, жовтень 2009 р.

	Концентрація СО, $\text{мг/м}^3$			
	7:00–8:00	12:00–13:00	18:00–19:00	Середня
Середа 22.10.09	42,9	49,85	76,83	56,53
Субота 25.10.09	28,15	44,76	52,49	41,8

Згідно відомої формули Рябікова [1] розрахована концентрація оксиду вуглецю у повітрі з краю дороги  $C_{\text{СО, max}}$  в залежності від інтенсивності руху автотранспорту. При цьому згідно СНІП 2-Д-5-72 врахована категорія доріг, за якою при проходженні дороги через населений пункт необхідно враховувати зростання інтенсивності денного руху під час « пік» (12 денних годин) у 1.5 рази. Визначена також необхідна ширина санітарної зони (акустичного розриву) дороги для житлового масиву. Одержані розрахункові дані наведені в таблиці 3.

Аналіз одержаних даних показує, що концентрація оксиду вуглецю в часи « пік» набагато перевершує допустимі викиди, відповідно і ширина санітарної зони не відповідає вимогам СНІП 2-Д-5-72.

Згідно правил, рекомендованих Головною геофізичною обсерваторією ім. А.І. Войейкова [2], визначена кількість шкідливих речовин, що виділяються під час спалювання палива автомобілями на визначеному шляху з врахуванням швидкості руху транспорту. Для розрахунку нами взято шлях, що близько прилягає до житлового масиву, довжиною 1 км, за умов витрати палива 100 г на 1 км шляху. Одержані дані наведені в таблиці 4.

Представлені дані по масі викидів оксиду вуглецю, азоту та вуглеводнів показують, що забруднення від автотранспорту по всім трьом речовинам знаходиться на рівні середніх підприємств.

Таблиця 3

Результати спостережень за інтенсивністю руху автотранспорту, його складом та концентрація  $C_{CO, \max}$  поблизу автодороги в годину “пік” – на перехресті вул. Героїв Сталінграду та Вакуленчука

Термін спостереження за сезоном	Усереднені показники кількості автомобілів, од/год						Концентрація чадного газу $C$ , мг/м <sup>3</sup>	Необхідна ширина санітарно-захисної смуги дороги, м	Фактична ширина вулиці, L, м
	Вантажівок	Автобусів	Легкових	Загальна кількість	Кількість автобусів та вантажівок				
					Чисельність	% від загальної кількості			
осінь, 2009р	143,5	15,5	2692,7	2851,7	158,9	6 %	58,7	263,3	50
зима, 2009р	111,4	11,9	2275,2	2396,3	123,3	5 %	50,1	220,7	
весна, 2010р	155,7	16,9	1298,7	3089,2	172,6	6 %	63,1	285,5	

Таким чином, виконані дослідження показують, що автомобільний транспорт привносить досить вагому кількість забруднень у атмосферу міста.

Зниження рівня забрудненості повітряного басейну міста можна досягти одночасним використанням різних засобів, спрямованих на зменшення токсичності викидів автомобілів. Серед великої кількості відомих заходів регулювання газозахисного режиму найбільш ефективними для міста є:

- удосконалення системи внутрішнього міського й зовнішнього транспорту;
- будівництво транспортних розв'язок на різних рівнях; будівництво автомобільної магістралі, що ліквідує транзит міжміських перевезень;
- раціональне функціональне зонування території міста, що забезпечило б зближення місць проживання і роботи населення;
- постійний контроль за технічним станом автомобільного парку міста;
- перевірка автомобілів на газові викиди по CO,  $C_mH_n$ , NO<sub>2</sub> та іншим шкідливим речовинам, для чого необхідно створити екологічну поліцію;
- збільшення кількості зелених насаджень на території міста.

**Висновки.** В роботі розглянуто проблеми забруднення навколишнього середовища автотранспортом. Вплив автотранспорту на екосистеми полягає у: забрудненні атмосфери, водних об'єктів і земель, зміні хімічного складу ґрунтів і мікрофлори; споживанні природних ресурсів (атмосферного повітря, води, земельних ре-

сурсів); створенні високих рівнів шуму і вібрації; травмуванні та загибелі людей, тварин; нанесенні великих матеріальних збитків внаслідок аварій та катастроф.

Таблиця 4

Маса шкідливих речовин, що викидається автотранспортом при спаленні палива на дільниці 1000 м шляху, що близько прилягає до житлового масиву на перехресті вул. Героїв Сталінграду та Вакуленчука

Термін спостереження за сезоном	Середня інтенсивність руху, од/год.		Число автомашин, що пройшли через КП в обидві сторони, од/хв.		Кількість викидаємих шкідливих речовин, г/с*			Всього, г/с		
	Дизельні	Бензинові	Дизельні	Бензинові	CO	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>	NO <sub>2</sub>
осінь 2009	158,9	2692,7	2,67	44,88	0,45	0,13	0,18	45,35	7,63	3,17
					44,9	7,5	2,99			
зима 2009	123,3	2275,2	2,06	37,92	0,21	0,06	0,08	22,96	3,85	1,6
					22,8	3,79	1,52			
весна 2010	172,6	1298,7	2,88	21,65	0,29	0,09	0,12	13,28	2,26	0,99
					12,99	2,17	0,87			

\* - чисельник – викиди від дизельних автомобілів, знаменник – від бензинових

В ході роботи:

- досліджено інтенсивність руху автомобільного транспорту на магістральних вулицях міста Дніпропетровська – на перехресті вул. Героїв Сталінграду та Вакуленчука у осіннє – зимово-весняний періоди 2009–2010 років;
- визначено концентрацію CO та маси викидів CO, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>, NO<sub>2</sub> на означених вулицях в різні години доби, різні дні тижня та по сезонах;
- встановлено необхідну ширину санітарно-захисної зони доріг та концентрацію CO поблизу автодоріг міста у години «пік».

В цілому розрахунки шкідливих викидів показують, що автомобільний транспорт є джерелом забруднення атмосфери на рівні середніх підприємств.

#### Список літератури

1. Руденко С.С., Костишин С.С., Морозова Т.В. Загальна екологія. –Чернівці: Рута, 2003.–156 с.
2. Эльтерман В.М. Охрана воздушной среды на химических и нефтехимических предприятиях. – М: Химия, 1985. – 160 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 10.04.2013*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ГІДРОСИСТЕМИ В МЕЖАХ ЯРУ ШАМИШИНА БАЛКА ЯК ОБ'ЄКТУ ЕКОМЕРЕЖІ РЕГІОНАЛЬНОГО ЗНАЧЕННЯ

Проведено фізико-хімічні дослідження поверхневих вод та мікробіологічні дослідження мулу водотоків гідросистеми та озера яру Шамишина балка з метою встановлення доцільності використання яру як ландшафтно-рекреаційної зони короткотривалого відпочинку.

Проведены физико-химические исследования поверхностных вод и микробиологические исследования ила водотоков гидросистемы и озера оврага Шамишина балка с целью установления целесообразности использования оврага как ландшафтно-рекреационной зоны кратковременного отдыха.

They Are Organized physico-chemical studies of surface water and microbiological of the study silt water system lake and lake of the ravine SHamishina beam for the reason determinations of practicability of the use the ravine as landscapes-rest zones of the short rest.

**Вступ.** Відхилення в процесі виробничо-господарської діяльності від принципів природокористування призвело до порушення стійкості ландшафтних екосистем, виникнення негативних екологічних ефектів та погіршення умов середовища життєдіяльності людей. Відповідно до цього потрібно вживати організаційно-господарські заходи щодо переходу до режиму інтегрального керування природними територіальними комплексами. Одним із таких принципів є збереження природного середовища, біологічного і ландшафтного різноманіття.

Ідея формування екологічної мережі є інтегральною у справі збереження природного середовища, оптимізації ландшафтів, збереження генофонду живої природи, формування сприятливих умов для життєдіяльності людини. Програма формування національної екологічної мережі України передбачає виділення ключових районів, екокоридорів, відновлювальних і буферних територій з урахуванням біогеографічних зон, вибір збережених екосистем, типів середовищ існування видів регіонального і національного значення.

Найважливішим завданням формування екомережі є просторова організація трансформованих ландшафтів з урахуванням речовинно-енергетичного обміну до рівня природних ландшафтів з урахуванням системно-екологічних рівнів – ландшафтного і водозбірного. Такий принцип передбачає структурування порушених земель, формування в межах водозбору складної просторової структури й оптимального співвідношення фізичних, хімічних та біологічних показників середовища. Особливої уваги слід приділяти гідрологічній складовій середовища, як елемента живлення чи середовища існування живих організмів. Враховуючи спрямованість використання об'єктів екомережі та їх територіальне розташування в межах населених пунктів, необхідно проводити дослідження фізико-хімічних параметрів середовища та враховувати їх з метою дотримання умов екобезпеки та комфортності перебування людей в межах рекреаційної зони короткотривалого відпочинку.

**Постановка задачі.** Шамишина балка представляє собою яр з унікальними ландшафтними особливостями: мальовничими краєвидами, затишними галявинами, цікавими схилами, численними невеликими водотоками й озером в центрі яру, що сприяло постанові питання щодо формування екомережі в її межах з метою повноцінного відновлення стану природного середовища, збереження біологічного і ландшафтного розмаїття та використання цієї території як ландшафтно-рекреаційної зони короткотривалого відпочинку місцевого населення. Для вирішення поставленої задачі проведена оцінка екологічного стану гідромережі яру Шамишина балка шляхом дослідження фізико-хімічних показників поверхневих вод та гідробіологічного дослідження мулу водоймища. З цією метою відібрані та проаналізовані проби води з чотирьох водотоків (проби 2 - 5) та озера (проба 1), а також проби мулу з озера яру.

**Результати роботи.** Оцінка якості поверхневих вод визначається за хімічним складом (вміст хлоридів, фосфатів, азоту амонійного, заліза загального тощо), фізичними показниками (температура, прозорість, каламутність та кольоровість, запах та присмак), бактеріологічними показниками. Відповідно до напрямку використання водного об'єкту нормуються показники наявності та кількості забруднюючих речовин у воді, як, наприклад, наведено в таблиці 1. Води гідромережі Шамишиної балки не можуть використовуватись для питного призначення чи рибогосподарського водокористування, тому оцінювання отриманих результатів щодо наявності та кількості відповідних речовин буде порівняне з граничнодопустимими концентраціями для об'єктів культурно-побутового водокористування.

Таблиця 1

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у воді водних об'єктів

Назва речовини	ГДК об'єктів культурно-побутового водокористування	ГДК об'єктів рибогосподарського водокористування	ГДК питного призначення
Азот амонійний	1,0	0,5	-
Фосфати	3,5	-	3,5
Хлориди	300	-	350
Залізо загальне	0,3	0,1	0,3
Сухий залишок	1000	-	1000

Дослідження вмісту азоту амонійного, фосфатів та заліза загального проводилось фотометричним методом. Вміст азоту амонійного та фосфатів визначався за стандартною методикою виконання вимірювань МВВ 081/12-0106-03. Визначення інгредієнтів проводили за допомогою КФК-3, вимірювання показників проводили при довжині хвилі  $\lambda = 425$  нм. Дослідження вмісту заліза загального проводили за методикою КНД 211.4.034-95 шляхом використанням КФК-3 при довжині хвилі  $\lambda = 510$  нм. Дослідження вмісту сухого залишку визначалось за методикою КНД 211.4.034-95 гравіметричним методом. Дослі-

дження вмісту хлоридів визначалось титриметричним методом за методикою МВВ 081/12-0204-01.

Отримані результати хімічного складу поверхневих вод Шамишиної балки приведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати хімічного складу поверхневих вод Шамишиної балки

Показник якості води	Одиниця виміру	Проба 1	Проба 2	Проба 3	Проба 4	Проба 5	ГДК
Азот амонійний (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	0,81	0,44	0,26	0,72	0,36	1
Фосфати (P)	мг/дм <sup>3</sup>	0,70	0,28	0,35	0,53	0,56	3,5
Хлориди (Cl <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	39,0	21,3	17,7	17,7	24,8	300
Залізо загальне (Fe <sub>заг</sub> )	мг/дм <sup>3</sup>	1,39	0,17	0,13	0,25	0,20	0,3
Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	366,0	299,0	240,0	248,0	226,0	1000

За отриманими результатами вимірів побудовано графік відповідностей концентрацій хімічних домішок у поверхневих водах Шамишиної балки граничнодопустимим концентраціям досліджених речовин для об'єктів культурно-побутового водокористування (рисунок 1).

Результати досліджень показали, що перевищень граничнодопустимих норм за дослідженими показниками відносно усіх відібраних проб не спостерігається. Отже воду можна вважати помірно чистою та використовувати її для культурно-побутового призначення. Виключенням є тільки одна проба, яка вказує на перевищення граничнодопустимих концентрацій на 40 % за залізом загальним у воді, яка була відібрана в озері Шамишиної балки. Даний факт говорить про забруднення переважно не побутового характеру, а отже виключена ймовірність потрапляння у водоймище та водотоки санітарно-побутових стічних вод, зливових вод тощо. Надмірний вміст заліза загального в озері балки, скоріш за все, спричинений вимиванням атмосферними опадами та подальшим змивом хімічних речовин, у тому числі хлоридів, сульфатів та інших, з золовідвалів ТЕЦ, що розташовані в північній частині яру та становлять перешкодою для природного розвантаження поверхневих та підземних вод балки.

Слід також відмітити, що майже за усіма дослідженими показниками проба води з озера Шамишиної балки наближається до граничних значень, що свідчить про помірне забруднення даного водоймища. Значний вміст азоту амонійного та фосфатів можна пояснити самозабрудненням (вторинним забрудненням) водойми в результаті відмирання та розкладання великої кількості водних рослин, недостатності живлення та утворення застійних зон у водоймах. Зазначені проблеми спричиняють цвітіння озера. Це пояснюється розвитком великої кількості ціанобактерій (синьо-зелених водоростей), від чого з'являється зелений колір води та неприємний запах. Дані водорості розвива-

ються враховуючи наявність світла і достатньої кількості поживних речовин (нітратів і фосфатів) у воді.

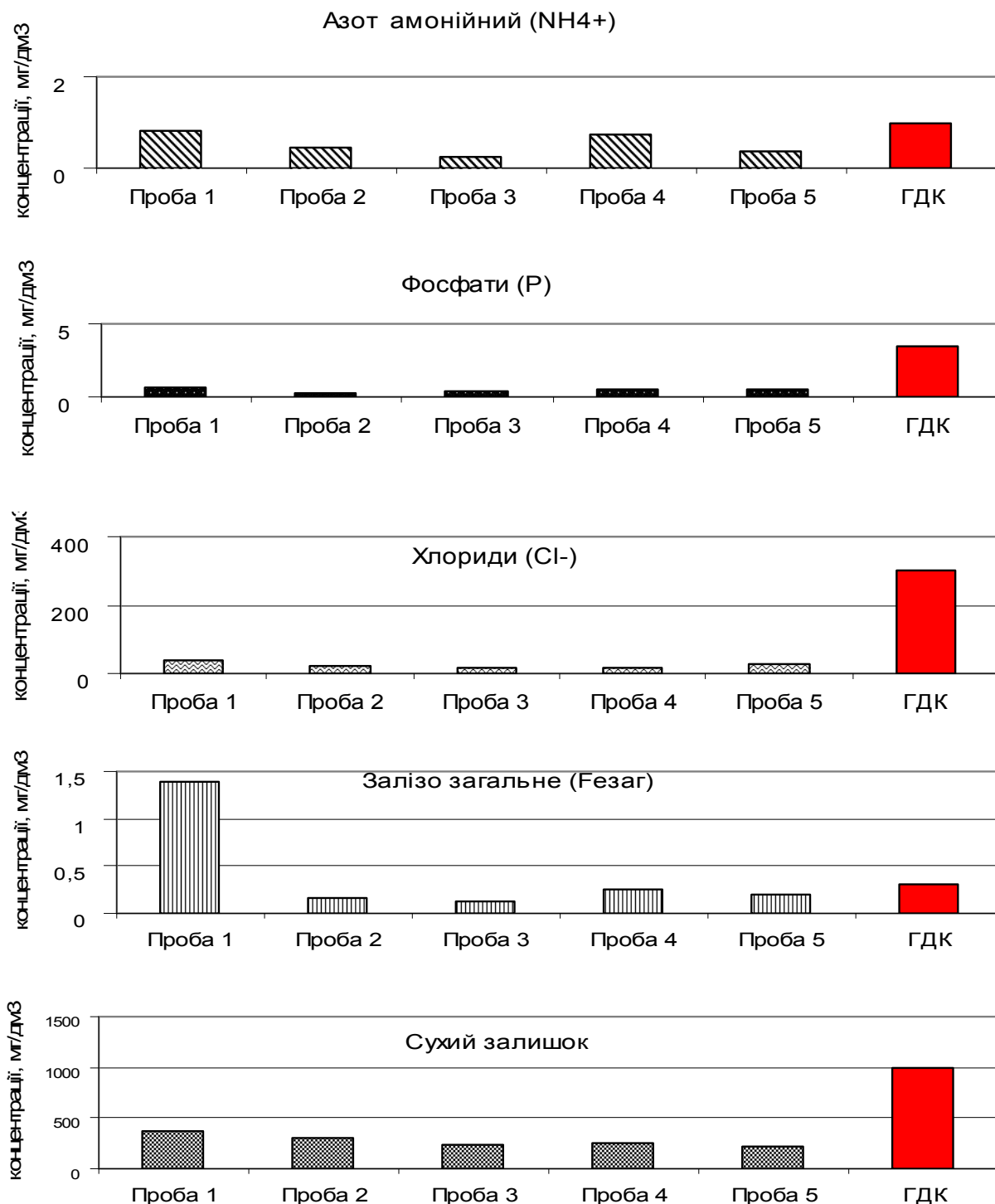


Рис. 1. Графік порівняння показників з їх ГДК

Враховуючи отримані результати хімічного складу поверхневих вод, були проведені їх фізичні дослідження на прозорість, температуру та вміст розчиненого кисню у водоймі, а також проведена гідробіологічна оцінка мулу даної водойми.

Прозорість води було визначено за існуючими методиками шляхом розглядання на світло досліджуваної води в посуді з прозорого скла. В результаті аналізу води з озера (проба 1) виявлено невелика кількість зважених часточок (водорості, глиниста каламуть тощо), отже дану водойму можна віднести до дуже слабо каламутної якісної характеристики, тому що вода мала жовто-зелений колір та була мутною за наявності в ній невеликої кількості синьо-зелених водоростей та інших мікроорганізмів і водних рослин. Результати дослідження прозорості води та інших фізичних показників у співставленні з показниками для р. Дніпро надані в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати виміру вмісту розчиненого кисню у поверхневих водах  
Шамишиної балки

№ проб та місце відбору	Розчинений кисень, мг/дм <sup>3</sup>	Температура, °С	Прозорість води
Проба №1 Озеро (північний берег)	5,22	8,0	Слабо кала- мутна
Озеро (південний берег)	6,68	7,8	Слабо кала- мутна
Проба №2 (район 7-ї лікарні)	7,27	8,3	Слабо кала- мутна
Проба №3 ( біля озера)	6,90	8,2	Прозора
Проба №4 (між вул. Скаліка та вул. Цюлковського)	6,68	7,8	Прозора
Проба №5 (район України)	7,13	8,1	Прозора
Річка Дніпро	8,5 – 9,5	9	Прозора

Дослідження наявності розчиненого кисню у поверхневих водах Шамишиної балки проводилося за допомогою оксиметра SENSION™6. Пристрій дозволяє заміряти вміст розчиненого кисню (в межах від 0 до 20 мг/л) та температуру проб. Концентрація кисню виводиться на екран після корегування по температурі, тиску та висоті над рівнем моря. Відповідно до вимог складу і властивостей води водойм питного і культурно-побутового водокористування вміст розчиненого кисню в пробі, відібраної до 12 часів дня, не повинен бути нижче 4 мг/дм<sup>3</sup> у будь-який період року.

У таблиці 3 наведені результати виміру вмісту кисню у воді в п'яти місцях різних водотоків та озері яру, які порівняні з усередненими показниками річки Дніпро.

За результатами проведених дослідів встановлено, що в поверхневих водах Шамишиної балки вміст розчиненого кисню варіює в межах від 5,22 до 7,27 мг/дм<sup>3</sup> при середній температурі води 8 °С. Не дивлячись на стрімку течію водотоків їх води, як визначилось, мають не достатню, у порівнянні з р. Дніпро,



кількість розчиненого кисню. Але це також пояснюється невеликими розмірами струмків та їх прямування у затінених місцевостях під густими кронами розвинених дерев. Отже, якість води водотоків можна визначити як помірно забруднену, що сприяє до 70-ти відсотковому насиченню її киснем.

Вода озера має концентрацію розчиненого кисню 5-6 мг/дм<sup>3</sup>, що відноситься водоймище до категорії забрудненого. Ця характеристика підтверджується результатами хімічного аналізу поверхневих вод балки та пояснюється причинами накопичення у водоймі біогенних елементів фосфатів та азоту амонійного. Дефіцит кисню спостерігається у водних об'єктах з високими концентраціями забруднюючих органічних речовин, у водоймах, де розвиваються процеси евтрофікації, а також у водах, що містять велику кількість біогенних і гумусових речовин.

Отримані результати екологічного стану гідросистеми не однозначні, тому потребують додаткових напрямків досліджень. Гідробіологічна оцінка мулу надасть можливість оцінити якість води по видовому складу біоценозу та рослинності водойми. Для проведення гідробіологічних досліджень складу мулу використано методику, яка надає якісну характеристику при описанні мулу. Принцип методу полягає у мікроскопуванні мулу за яким визначаються групи, види або підвиди організмів-індикаторів забруднення, оцінюються їх кількісні співвідношення, фізіологічний стан особин і на підставі цих характеристик роблять висновок про стан водойми.

В результаті проведення аналізу мулу встановлено його вміст: нитчасті бактерії, амеби: *Arcella vulgaris*, *Turicola*, *Euglyphna*; джгутикові безбарвні (*Bodo*); синьо-зелені водорості: *Anabaeva*, *Microcystic aeruginosa*; цисти інфузорій, *Paramecium* (туфельки), коловертки (*Monostyla*).

Виявлені у водоймищі Шамишиної балки мікроорганізми певним чином обумовлюють екологічний стан водойми:

– значна кількість нитчастих бактерій, водоростей, джгутикових та грязьових включень свідчить про недостатність самоочищення даного водоймища, а також про наближення концентрацій азоту амонійного та фосфатів у воді до норм ГДК, як і було встановлено при проведенні хіманалізу поверхневих вод водойми;

– наявність джгутикових характеризує водоймище як значно навантажене різноманітними забруднюючими речовинами, що впливає на систему відновлення та затримує самоочищення водойми;

– значна кількість синьо-зелених, діатомових водоростей вказує на наявність в достатній кількості біогенних елементів, які спричиняють їх бурний розвиток і розмноження, що негативно може вплинути на якість води (зниження концентрації розчиненого кисню) під час біорозкладання і біодеградації з утворенням індольних і фенольних речовин.

Наявність зазначеного видового різноманіття підтверджується фізико-хімічними дослідженнями води водойми, а саме низькою концентрацією розчиненого кисню. Так, наприклад, присутність черв'яків *Nematoda* підтверджує недостатню кількість розчиненого кисню і масообмінних процесів шляхом утворення застійних зон.

Серед позитивних видів простіших відмічено присутність кореніжок та коловерток. Характеристика зазначених видів свідчить про задовільний темп процесу нітрифікації.

Наявність грязьових включень вказує на засмічення водойми механічними включеннями, що може бути прийнято за основу щодо розробки заходів з очищення дна водойми для покращення його самоочищення.

**Висновки.** За результатами проведених досліджень фізико-хімічної оцінки поверхневих вод водотоків гідросистеми яру та озера в тальвезі Шамишиної балки, а також мікробіологічного дослідження мулу зазначеної водойми можна стверджувати про безпечний екологічний стан гідросистеми та задовільний процесу самоочищення водойми. Встановлені концентрації шкідливих речовин у воді за відібраними пробами не перевищують граничнодопустимих концентрацій, виявлені мікроорганізми не сприяють суцільній деградації водойми, але з метою підвищення процесу відновлення водойми за рахунок специфічно створеного біоценозу і розширення його біорізноманіття необхідно розробити та впровадити заходи з очищення дна від донних відкладень.

Використання водоймища в Шамишиній балці в культурно-побутових цілях можливе після попереднього очищення чаші озера, а саме необхідне очищення та виймання мулу з дна озера, прибирання сміття в межах берегової смуги, упорядкування берегової смуги (посадка декоративної рослинності, підсилення піском дна водойми, улаштування пляжної зони) та забезпечення постійного догляду за водоймою, лісовими посадками та травостоєм на схилах та тальвегу яру. Вказаний комплекс робіт із впорядкування та санітарного очищення території дозволить використовувати цей об'єкт як ландшафтно-рекреаційну зону короткотривалого відпочинку місцевого населення завдяки мальовничим струмками з невеличкими водоспадами, декоративного озера в центральній частині паркової зони та іншим екологічно безпечним елементам гідросистеми в межах яру Шамишиної балки.

#### Список літератури

1. А.В.Яцик. Водогосподарська екологія. - Том 4. – Київ.: «Генеза». 2004 р. – 649 с.
2. Конєбок Г.В., Закорко О.П., Марушевський Г. Б. Збереження біорізноманіття, створення екомережі та інтегроване управління річковими басейнами. – Посібник для вчителів і громадських природоохоронних організацій. – Чорноморська програма Ветландс Інтернешнл. 2008 р. – 200 с.
3. Розбудова екомережі України / Науковий редактор академік НАН України Ю.Р. Шеляг-Сосонко. – К., 1999. – 127с.
4. Програма формування національної екомережі Дніпропетровської області на 2006 – 2015 роки – Дніпропетровськ, 2006. – 30с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 03.04.2013*

## РУДНЫЕ ОТВАЛЫ КАК ФАКТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВ, ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

На основании результатов теоретического и экспериментального моделирования отвалов вскрышных и скальных пород предположено, что тяжелые по массе рудные отвалы в отличие от легких отвалов вскрышных пород могут привести к перераспределению водного баланса прилегающих территорий и развитию процессов подтопления, а также оползневых явлений. Кроме того расчеты солевого стока показали, что рудные отвалы являются объектами-загрязнителями. Обоснована малая эффективность санитарной промывки р. Ингулец и предложены практические решения по улучшению водохозяйственной ситуации Криворожского региона.

На основі результатів теоретичного і експериментального моделювання відвалів розкривних і скальних порід запропоновано, що важкі по масі рудні відвали на відміну від легких відвалів розкривних порід можуть призвести до перерозподілу водного балансу прилеглої території і розвитку процесів підтоплення, а також зсувних явищ. Окрім цього розрахунки солевого стоку показали, що рудні відвали являються об'єктами-забруднювачами. Обґрунтована мала ефективність санітарної промивки р. Інгулець і запропоновані практичні рішення щодо поліпшення водогосподарської ситуації Криворізького регіону.

The results of theoretical and experimental researches are suggested that heavy mass iron-ore dumps unlike lung overburden dumps can lead to a redistribution of the water balance on surrounding areas and the development of flooding processes and landslides. Besides salt effluent calculations are showed that the ore dumps are polluting the environment. The low efficiency of sanitary washing of the Ingulets river is substantiated and the practical solutions to improve the water situation in the Krivoy Rog region are proposed.

**Введение.** Анализ литературных данных показал, что отвал горных пород не рассматривается как источник загрязнения прилегающих территорий вследствие инфильтрации вод через его тело в подземные воды [1, 2 и др.]. Как правило, фиксируются накопления продуктов выветривания в окружающей среде из-за ветрового переноса (пыления) и вымывание растворимых химических компонентов атмосферными осадками с последующей инфильтрацией в грунты и подземные воды. Особое внимание уделяется значительному земельному отводу под отвалы в большинстве случаев в ущерб сельскому хозяйству. Ограничения по высоте, объему, массе отвалов вводятся только из расчета устойчивости их откосов. Вскользь упоминается о возможном влиянии массы отвала на породное основание, о химическом выветривании, протекающем в верхних слоях, о выходах источников из-под отвала и переходе подавляющей части атмосферных осадков в подземный водозабор.

**Целью исследований** является обоснование отвалов как фактора загрязнения прилегающих территорий. Для изучения причин постоянного ухудшения водохозяйственной ситуации юга г. Кривого Рога рассчитан солевой сток по участкам долины р. Ингулец вблизи Левобережного отвала на основе анализа данных химического состава грунтов, донных отложений и воды р. Ингулец, ее

поверхностных притоков (источников) [2, 3], а также рассмотрены причины слабой эффективности санитарной промывки р. Ингулец.

**Изложение основного материала.** В качестве объекта исследований выступает рудный Левобережный отвал Южного горно-обогачительного комбината (ЮГОК), где сланцы, кварциты и отходы обогащения окисленные железистые кварциты в соотношении 1:1 [3]. Между сланцами и железистыми кварцитами существует контраст в содержании основной группы малых элементов (Ni, Cr, Co, Ti, V). В железистых кварцитах концентрация этих элементов меньше в  $20 \div 30$  раз, а по некоторым элементам 100 раз. Содержание марганца в железистых кварцитах в 5 раз превышает его концентрацию в сланцах [3].

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что отвалы рыхлых осадочных вскрышных пород и рудные отвалы по-разному влияют на подстилающие их слои [4]. Отвалы вскрышных пород, как правило, имеют небольшую высоту (до 50 м), оказываемое ими давление на подстилающие породы приводит к несущественным изменениям гидрогеологических показателей водовмещающих толщ, а, следовательно, не ведет к значительному перераспределению водного баланса и развитию процессов подтопления и оползневых явлений.

В отличие от отвалов вскрышных пород рудные отвалы со значительной массой крупных обломков железистых кварцитов существенно изменяют коэффициенты фильтрации водовмещающих толщ. В начале отсыпки рудного отвала защитный экран является геомеханическим барьером для вертикальной миграции тяжелых металлов, поскольку глинистые породы обладают сорбционными свойствами. С ростом давления от массы отвала на подстилающие породы начинается фильтрация внутриотвальных вод в подземные воды, так как нарушается целостность защитного экрана от действия значительных неравномерно распределенных нагрузок от отвала. Современные тектонические движения вдоль разломов, а также взрывы во время добычи железистых кварцитов открытым способом усиливают фильтрационные свойства лёсовидных суглинков и способствуют формированию вдоль них зон активной фильтрации. Между нарушенными зонами в защитном экране и зонами трещиноватости кристаллических пород фундамента возникает гидравлическая связь и высокоминерализованные загрязненные внутриотвальные воды мигрируют в водоносные горизонты, при этом часть тяжелых металлов накапливается в тяжелых суглинках, глинах, известняках.

Набор химических элементов вод источников, выходящих вблизи отвала, почв, проб воды и донных отложений р. Ингулец идентичен составу рудного отвала, что подтверждает его негативное влияние на прилегающие территории [2, 3]. Все это приводит к постоянному ухудшению качества воды р. Ингулец на участке 302-308 км от устья р. Ингулец (створ III – IV) возле Левобережного отвала: минерализация речной воды повышается на  $0.05 \div 0.20$  г/дм<sup>3</sup> (рис. 1). Зафиксировано существенное повышение солевого стока реки в  $3.9 \div 4.5$  раза в сравнении со стоком поверхностных источников-загрязнителей, которые территориально тяготеют к телу отвала. По данным на 2007 г. [2] на участке створ III – IV, длиной 6.63 км, средний прирост расхода, солевого стока и минерализа-

ции составляет 135 л/с,  $0.15 \text{ г/дм}^3$ , 59 т/сут., из них соответствующие суммарные показатели всех поверхностных притоков – 18 л/с,  $4.76 \div 10.84 \text{ г/дм}^3$ , 14 т/сут. Следовательно характеристика не учтенного притока следующая: средний расход 116.89 л/с, солевой сток 45.06 т/сут. и средняя минерализация  $4.46 \text{ г/дм}^3$  (табл. 1) [2]. На участке реки створ III – IV присутствует мощное химическое загрязнение поверхностным (в виде источников) и подземным притоком, вклад которого в загрязнение реки наиболее существенный.

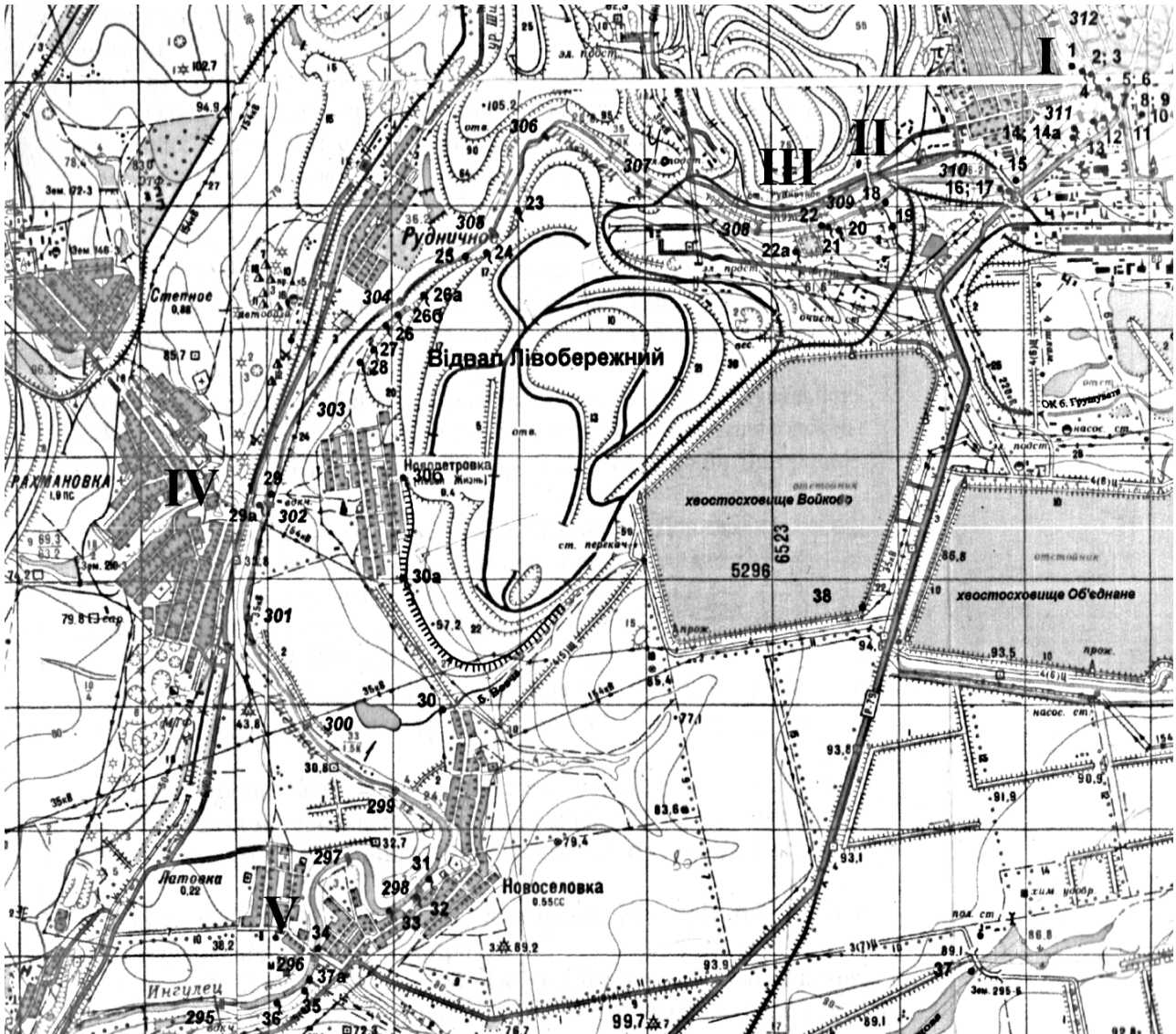


Рис. 1. Участок мониторинга [2]: I, II, III, IV, V – номера створов

В отличие от соседних участков реки (створы I – III, IV – V) на рассматриваемом отрезке (створ IV – створ III) можно выделить основной мощный объект-загрязнитель – рудный отвал горных пород, влияние которого на экологическое состояние бассейна реки не уступает другим известным факторам загрязнения – хвостохранилищам, прудам-накопителям [4, 5].

Таблица 1. Определение среднего расхода, солевого стока, минерализации неучтенного скрытого притока по данным [2]

№	Створы				Учтенный приток			Неучтенный приток			Возможные основные источники загрязнения
	Длина участка р. Ингулец, км	Расход, л/с	Солевой сток, т/сут.	Расход, л/с	Солевой сток, т/сут.	Расход, л/с	Солевой сток, т/сут.	Расход, л/с	Солевой сток, т/сут.	Минерализация расчетная, г/дм <sup>3</sup>	
По данным 18-19.05.2006, 06.06.2006, 17.18.05.2007, 10-11.07.2007 гг.											
III – I	2.87	1162.5	377.33	785.48	226.62	377.03	150.72	150.72 / 377.03 / 0.0864 = 4.63	150.72 / 377.03 / 0.0864 = 4.63		хозяйственно-бытовые стоки микрорайона ЮГОК, пруд-накопитель в б. Грушеватая, хвостохранилище «Объединенное»
V – III	12.67	295	268.68	39.56	29.34	255.44	239.34	239.34 / 255.44 / 0.0864 = 10.84	239.34 / 255.44 / 0.0864 = 10.84		Левобережный отвал с хвостохранилищем «Войково», хозяйственно-бытовые стоки полуразрушенного с. Новопетровка, с. Новоселовка, с. Рахмановка, с. Латовка, хвостохранилище «Объединенное», б. Свистунова
По данным 17.18.05.2007, 10-11.07.2007 гг.*											
III – I	2.87	790	268.34	653.22	199.75	136.79	68.59	68.59 / 136.79 / 0.0864 = 5.8	68.59 / 136.79 / 0.0864 = 5.8		хозяйственно-бытовые стоки микрорайона ЮГОК, пруд-накопитель в б. Грушеватая, хвостохранилище «Объединенное»
IV – III	6.63	135	59.02	18.03	13.96	116.98	45.06	45.06 / 116.98 / 0.0864 = 4.46	45.06 / 116.98 / 0.0864 = 4.46		Левобережный отвал с хвостохранилищем «Войково», хозяйственно-бытовые стоки полуразрушенного с. Новопетровка
V – IV	6.04	150	188.12	20	14.57	130	173.55	173.55 / 130 / 0.0864 = 15.45	173.55 / 130 / 0.0864 = 15.45		Левобережный отвал с хвостохранилищем «Войково», хвостохранилище «Объединенное», хозяйственно-бытовые стоки сел Рахмановка, Новоселовка, Латовка, б. Свистунова

Примечание. \* Отсутствие полного ряда исходных данных по створу IV на 18-19.05.2006, 06.06.2006.

Интенсивное загрязнение неразбавленными и, как следствие, мало опресненными, фильтрационными внутриотвальными водами [5] имеет постоянный характер. Средний расход подземного притока несколько меньше по сравнению с подземным притоком на двух других участках выше (створ II – III) и ниже (створ IV – V) по течению –  $116.89 \text{ л/с} < 130 \div 136.79 \text{ л/с}$ , средний солевой сток –  $45.06 \text{ т/сут.} < 65.09 \div 173.55 \text{ т/сут.}$ , прогнозируемая минерализация –  $4.46 \text{ г/дм}^3 < 5.80 \div 15.45 \text{ г/дм}^3$  соответственно.

В результате значительного уплотнения нижезалегающих пород отвала, происходит перераспределение водных ресурсов территории, поэтому со временем на данном участке следует ожидать уменьшение негативного влияния хвостохранилища «Войково», а влияние хвостохранилища «Объединенное» может стать не существенным. Об этом свидетельствует юго-восточное направление тока минерализованных вод в сторону с. Новоселовка, образование в четвертичных лессовидных отложениях техногенного водоносного горизонта, участков подтопления, оползня на окраине с. Новоселовка, бугров выпирания пластичных пород и выходов высокоминерализованных вод по периметру отвала и ухудшение в селах Новопетровка и Новоселовка качества питьевой воды из колодцев [2].

Связь между рудным отвалом и загрязнением поверхностных и подземных вод, почв и горных пород можно объяснить процессами, происходящими на поверхности и внутри отвала [3, 5]. В результате физико-химического выветривания происходит разрушение слагающих отвал пород, попадание мелких частиц в атмосферу и смыв более крупных временными водными потоками и как следствие, загрязнение грунтов, поверхностных вод. Другая часть атмосферных осадков инфильтруется в тело отвала и может являться, наряду с сезонными перепадами температур, изменением *pH*-условий, катализатором ряда физико-химических процессов [3, 5], в результате которых образуются высокоминерализованные внутриотвальные воды. Вследствии преобразований исходных пород отвала, чередования пород с разными физико-механическими свойствами, следует ожидать неравномерное оседания отвала, образование систем трещин и зон повышенной проницаемости, достигающих его подошвы [3, 5].

В начале отсыпки рудного отвала защитный экран является геомеханическим барьером по отношению к вертикальной миграции высокоминерализованных растворов. С ростом давления от массы отвала на подстилающие породы начинается фильтрация внутриотвальных вод в подземные воды, поскольку нарушается целостность глинистого экрана от действия значительных неравномерно распределенных и мгновенных динамических нагрузок. Современные движения вдоль разломов Криворожско-Кременчугской тектонической зоны улучшают фильтрационные свойства лёсовидных суглинков и способствуют формированию вдоль них зон активной фильтрации. По разрывам сплошности слоя суглинков, зонам трещиноватости вдоль тектонических нарушений возникает гидравлическая связь высокоминерализованных поверхностных вод с подземными. При этом часть тяжелых металлов накапливается в тяжелых суглин-

ках, глинах, нарушенных известняках. Грунтовые воды, насыщенные химическими элементами и соединениями, пополняют водосбор речки, загрязняют значительные территории, особенно вдоль заводей, что подтверждает идентичность химического состава проб почв, донных отложений и воды р. Ингулец. Часть микроэлементов, которые мигрируют из тела отвала в коллоидной форме, оседает в донных отложениях. Во время наводнений и искусственных пропусков воды эти загрязнители вместе с частицами грунтов и донными отложениями переносятся на прилегающие территории.

На сегодняшний день для улучшения экологической и водохозяйственной ситуации бассейна р. Ингулец ежегодно в межвегетационный период проводится промывка русла за счет подачи 60-65 млн. м<sup>3</sup> воды в период половодья из канала Днепр-Ингулец в утвержденные регламентом сроки [1, 2]. В это же время горнорудные предприятия Кривбасса дозировано сбрасывают высокоминерализованные излишки шахтных вод, вследствие ограниченного их использования в оборотных циклах на ГОКах и отсутствии свободных емкостей, пригодных для их аккумуляции.

По окончании промывки комиссионное обследование гидрологического состояния русла р. Ингулец с отбором контрольных проб в створах гидропостов с. Андреевка, пгт Большая Александровка, Главной насосной станции Ингулецкой оросительной системы (ОС), с. Дарьевка, фиксирует жесткость воды выше предельно-допустимой концентрации в 1.7–1.9 раза [2]. Качество поверхностной воды на 308.70 км, 307.70 км, 302.07 км и 296.03 км (в створах I – IV, указанных на рис. 4) не отвечает требованиям СанПН №4630-88 [2] по хлоридам и сульфатами на протяжении всего времени наблюдений 2005-2007 гг. вне зависимости от санитарной промывки русла р. Ингулец. После промывки наблюдается постоянный рост минерализации речной воды, фиксируется неудовлетворительное ее качество и негативное влияние на состояние орошаемых земель Ингулецкой ОС.

Низкая эффективность промывки извилистого русла р. Ингулец объясняется тем, что в донных отложениях остаются основные опасные загрязнители – тяжелые металлы, которые имеют канцерогенные свойства. При естественном или искусственном паводке загрязнители мигрируют по течению, попадают в заболоченные поймы, где задерживаются растительностью. Промывка реки ускоряет естественное развитие ее долины. Со временем это может привести к естественному выпрямлению русла и образованию загрязненных берегов реки, стариц. Таким образом, промывка частично изменяет ситуацию в регионе, но полностью не разрешает данную экологическую проблему.

Проведение экологического оздоровления р. Ингулец нуждается во внедрении более эффективных мероприятий, чем санитарное промывка русла. Они могут заключаться в искусственном выпрямлении извилистого участка русла реки и ликвидации меандр, благодаря которым происходит основное накопление аллювия с большим содержанием тяжелых металлов. При этом можно ожидать увеличение скорости течения и, как следствие, меньшее оседание



взвешенных наносов. Кроме того для улучшения качества воды р. Ингулец необходимо предусмотреть сбор и обезвоживание донных наносов с помощью геотубов. Заполненными геотубами можно укрепить вогнутый берег, что предупредит его размыв во время промывки, и повысить прирусловый вал, что помешает попаданию загрязнителей в надпойменные террасы. Отфильтрованная вода из геотубов будет постепенно стекать в реку, при этом наносы с вредными примесями останутся внутри геотуба.

**Выводы.** В результате теоретических и экспериментальных исследований доказано, что значительное давление на подстилающие породы рудных отвалов (в отличии от отвалов вскрышных пород) существенно влияет на изменение физико-механических свойств, гидрогеологических показателей нижележающих слоев, вследствие чего происходит перераспределение водного баланса и развитие процессов подтопления на прилегающих территориях. Применяемые защитные экраны из суглинка и глин под рудными отвалами мало функциональны из-за вдавливания рудных обломков в слои связных пород и образования в них зон фильтрации. Нарушение защитного экрана приводит к проникновению высокоминерализованных вод из тела отвала в поверхностные и подземные воды тем самым, способствуя их загрязнению. Таким образом, отвалы горных пород в горнодобывающих регионах являются не только факторами подтопления, но и загрязнения прилегающих территорий.

#### Список литературы

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2010 році. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – 254 с.
2. Ракуляк В. В. Дослідження гідрологічного та гідрогеологічного режиму та визначення джерел забруднення р. Ингулец в районі діяльності підприємств Кривбасу у Дніпропетровській області: звіт, Т. 1 / В. В. Ракуляк, В. В. Дем'янов. – Дніпропетровськ: «ДНІПРО-ДІПРОВОДГОСП», 2007. – 120 с.
3. Орлинская О. В. Экологические проблемы железорудных регионов / Екологічні проблеми гірничо-металургійного комплексу за умов формування принципів збалансованого розвитку: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, Дніпропетровськ, 2-3 грудня 2008 р. // О. В. Орлинская, О. А. Терешкова, Д. С. Пикареня. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2008. – С. 165-172.
4. Орлінська О. В. Фактори підтоплення територій в гірничо-видобувних регіонах / Збірник наукових праць НГУ // О. В. Орлінська, Д. С. Пикареня, Н. М. Максимова. – Д.: НГУ, 2012. – № 37. – С. 299-304.
5. Орлинская О.В. Модель физико-химических преобразований в левобережных отвалах ЮГОКа / Наук. вісн. НГУ // О.В. Орлинская, О.А. Терешкова, А.А. Алексеев. – 2005. – № 9. – С. 99-102.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є  
Надійшла до редакції 15.04.2013*

## ЭКОСИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ПРИ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Рассмотрен экосистемный подход при лесотехнической рекультивации нарушенных земель в горнодобывающих регионах, учитывающий комплекс экологических факторов, влияющих на эффективность восстановления техногенных ландшафтов.

Розглянуто екосистемний підхід при лісотехнічній рекультивації порушених земель в гірничодобувних регіонах, який враховує комплекс екологічних чинників, що впливають на ефективність відновлення техногенних ландшафтів.

An ecosystem approach by forestry land reclamation of disturbed lands in mining regions that takes into account the range of environmental factors affecting the efficiency of technogenic landscapes rehabilitation is considered.

**Вступление.** Лесотехническая рекультивация нарушенных земель в горнодобывающих регионах является важным направлением оптимизации техногенных ландшафтов, составной частью мероприятий по оздоровлению окружающей природной среды. Биологический этап рекультивации включает комплекс агротехнических и фитомелиоративных мероприятий, направленных на создание устойчивого растительного покрова на поверхности техногенных массивов пород. Задачи восстановления земель сводятся в основном, к восстановлению топографии и продуктивности земель до их первоначального состояния и созданию благоприятных условий для последующего землепользования.

**Последние достижения.** Мировая практика показывает, что эти задачи в значительной степени решаются посредством проведения биологической фито-рекультивации техногенных ландшафтов, так как установление стабильных растительных сообществ (фитоценозов), в конечном счете, предопределяет устойчивость и продуктивность техноэкосистемы в целом. Факторы техногенеза в горнодобывающих регионах являются неблагоприятными для растительности вследствие деградации земель, исчезновения и угнетения типичных видов растений и животных, нарушения естественных почвенных биосистем (педоценозов). Поэтому, правильно спланированная фиторекультивация способствует процессам почвообразования, возрождению почвенного покрова и развитию первичных растительных сообществ на техногенных ландшафтах. С течением времени пионерные фитоценозы способствуют процессам естественного восстановления ландшафта, выступая как средообразующий фактор.

**Формулирование целей.** Несмотря на то, что разработаны многочисленные технологии рекультивации земель, мировой опыт показывает, что в этой области существуют проблемы, связанные с созданием устойчивых растительных сообществ, подбором ассортимента древесно-кустарниковой растительности, доступностью элементов минерального питания растений и длительным влиянием токсичных веществ породных массивов на флору и фауну. Поэтому выявление узких мест в технологиях ведения рекультивационных работ представляет научный и прикладной интерес.

Целью работы является выявление приоритетных экологических факторов восстановления нарушенных горными работами ландшафтов и определить эффективные стратегии направленной фиторекультивации.

**Роль растительности в восстановлении земель: экосистемный подход.**

Как в естественной среде, так и в искусственно созданной экосистеме любое растительное сообщество представляет собой не спонтанный набор видов растений, а упорядоченную систему со свойственными ей процессами круговорота веществ, энергии и информации, внутривидовыми и межвидовыми взаимоотношениями и т.д. Экосистема будет нормально и продолжительно функционировать, если эти процессы находятся в состоянии устойчивого баланса. В этом состоянии любое воздействие внешних факторов побуждает систему сопротивляться этому влиянию. Ключевой задачей успешной рекультивации является создание устойчивых фитоценозов способных не только существовать на техногенной территории, но и выступать в качестве средообразующей силы, ускоряющей естественное восстановление нарушенных земель. При этом учитывается комплекс экологических факторов, влияющих на эффективность установления растительных сообществ (рисунок).



Рис.1. Основные экологические факторы, влияющие на эффективность биологической рекультивации

Растительность оказывает существенное влияние на свойства почвы. Растения определяют гидрологические характеристики и обеспечивают механическую стабильность, что особенно важно для закрепления склонов. Их корни поглощают большое количество воды, которая, испаряясь, возвращается в атмосферу. Корнеобитаемый слой служит средой существования для многочисленных микроорганизмов, которые участвуют в круговороте питательных веществ, создавая тем самым условия для существования других организмов [1].

Наземные части удерживают частицы почвы и препятствуют развитию эрозионных процессов. Остатки растений увеличивают пористость и проницаемость поверхностного слоя субстрата, замедляя и снижая интенсивность поверхностного стока. В процессе фотосинтеза растения накапливают биомассу, часть которой возвращается в почву в виде листового опада.

Плотный растительный покров обеспечивает защиту поверхности от водной и ветровой эрозии, уменьшая загрязнение стока смываемым осадком и воздуха частицами пыли. Растительный покров из многолетних трав не всегда обеспечивает долговременную и эффективную защиту от эрозии на техногенных территориях [2]. Многолетние травы могут служить в качестве пионерных сообществ, которые подготавливают условия для более долговечной древесно-кустарниковой растительности.

Деревья и кустарники в большей степени влияют на процессы почвообразования и накопления органического вещества. Они также создают среду обитания для многочисленных представителей фауны, которые представляют важное звено в трофических цепях экосистемы [3].

Ввиду сложности комплексного влияния экологических факторов в экосистеме, рассмотрим наиболее значимые из них, недостаток или избыточное воздействие которых создает проблемы при лесотехнической рекультивации нарушенных земель.

*Физико-химические свойства пород.* Физико-химические характеристики субстрата представляют основную проблему для успешного проведения фито-рекультивационных работ на техногенных территориях.

Почва, сформированная в естественных условиях, представляет собой органно-минеральное образование, сложенное из продуктов разрушения пород земной коры, веществ органического и неорганического происхождения, а также биоценоза почвенных организмов. В результате долговременной эволюции почва трансформируется в динамическую систему, насыщенную фракциями органических и неорганических веществ, сообществом организмов и продуктами их жизнедеятельности.

В отличие от почв, свойства горных пород, складываемых на дневной поверхности в виде отвалов и насыпей, обусловлены физико-химическими характеристиками исходных геологических пластов. В них практически отсутствует органическое вещество и почвенные организмы, необходимые для создания устойчивой и самоподдерживающейся экологической системы.

Существенными физико-механическими характеристиками пород, препятствующими озеленению насыпных массивов пород, являются их уплотненность и неравномерная структура, что препятствует корневой системе растений

нормально развиваться, а также влияние токсичных веществ в повышенных концентрациях [2].

*Доступность элементов минерального питания.* Для роста растения потребляют питательные вещества из почвенного раствора посредством корневой системы. В насыпных массивах пород этих веществ, как правило, недостаточно. Это касается, в первую очередь, соединений азота и фосфора.

Азот – структурный компонент аминокислот и белков в клетках и необходим для роста биомассы растений. Изначально в насыпных массивах практически отсутствуют доступные для усвоения растениями формы азота. В северной Англии получила распространение практика внесения азотных удобрений непосредственно на рекультивируемые участки с целью создания первичных условий для произрастания растений [4]. Однако такой эффект недолговечен. Долговременный круговорот азота в поверхностном слое пород может быть обеспечен азотфиксирующими растениями и их почвенными симбионтами [5], которые своей деятельностью способствуют развитию экосистемы.

Фосфор – необходимый компонент нуклеиновых кислот, белков, аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) и ряда других жизненно важных органических веществ, принимающих участие в метаболизме клеток. Это сравнительно мало распространенный элемент и часто бывает фактором, лимитирующим продуктивность экосистем. Его недостаток угнетает рост растений, особенно корневой системы [2].

Калий необходим растениям в таких же количествах, как и азот. Калий необходим для поддержания анионного, катионного и осмотического балансов в клетках растений и осуществления множества ферментативных реакций. Количество калия в отходах горного производства варьирует в значительных пределах, поэтому его дополнительное внесение на рекультивируемые земли определяется в зависимости от химического состава пород и видового состава растительного сообщества предполагаемого для рекультивационных мероприятий.

*Активная реакция почвенной среды (pH).* Множество проблем, связанных с установлением устойчивого древесного покрова на нарушенных горными работами территориях, прямо или косвенно связано с активной реакцией среды (pH). При этом, низкие значения pH среды оказывают наиболее токсичный эффект на растения по сравнению с нейтральными или щелочными значениями.

Повышение кислотности наблюдается в горных породах, содержащих минералы, способные к окислению, например пирит ( $FeS$ ). Известная проблема горящих породных отвалов связана, главным образом, с эндогенными реакциями окисления железа и серы обусловленных воздействием атмосферных факторов и ферментативной активностью микроорганизмов. Продуктами реакций являются трехвалентное железо, сульфаты и высвобождающиеся протоны водорода, снижающие pH пород до 3,5-4,0 и ниже. Исследованиями установлено, что при таких значениях pH рост многих растений угнетен [4]. Кроме того, при снижении pH происходит выщелачивание из породной массы тяжелых металлов, прежде всего алюминия и марганца, которые минерализуются и в виде солей усиливают токсичный эффект пород.

Таким образом, окислительные процессы в насыпных массивах влекут за собой повышение кислотности и образование солей тяжелых металлов, которые накапливаются в поверхностном слое пород вследствие естественного испарения влаги, ухудшая пригодность пород для произрастания растений. На территориях с влажным климатом кислотные и солевые компоненты вымываются из поверхностного слоя пород, загрязняя прилегающие территории и поверхностные водотоки. Атмосферные осадки, стекающие по поверхности отвалов породы, имеют  $pH$  от 1,9 до 3,1 и содержат большие количества железа и других тяжелых металлов [2].

*Форма насыпных массивов пород и экспозиция склонов.* В соответствии с технологией отвалообразования насыпные массивы пород в основном имеют форму обычного или усеченного конуса.

Форма и экспозиция склона значительно влияют на приживаемость древесных форм растительности. Условия наиболее благоприятны у подножия породных отвалов и на нижних частях склонов, где больше влаги, а также частиц почвы, привнесенных в результате эрозионных процессов. [5]. На склонах отвалов растительность испытывает недостаток влаги и подвержена воздействию склоновых процессов, таких как водная эрозия, перемещение частиц поверхностного слоя пород и т.д.

Крутизна склонов определяет интенсивность процессов водной эрозии, и накопления органического вещества в нижней части склонов. Однако следует учитывать, что в процессе выщелачивания солевых компонентов из верхних частей склона у подножия отвала может происходить аккумуляция токсичных веществ, угнетающих биоту.

Также важна экспозиция склона по отношению к сторонам горизонта. Южные склоны получают больше дневного света, но интенсивность испарения на таких участках выше, что может быть решающим при подборе ассортимента древесно-кустарниковой растительности.

*Биоразнообразие и конкуренция.* Биоразнообразие флоры и фауны является индикатором устойчивости и продуктивности экосистемы. Чем больше видов растений и животных населяет данную территорию (экотоп), тем больше вещества и энергии проходит по цепям питания и соответственно больше биомассы накапливается в экосистеме.

Разнообразное сообщество живых организмов обуславливает более сложные их взаимодействия в экосистеме. Конкурентные взаимоотношения внутри популяций, видов и между различными видами растений и животных на данной территории способствуют последовательной смене биоценозов (сукцессии), результате чего через определенный период времени развивается динамическая и устойчивая экосистема. Например, древесно-кустарниковая растительность, интродуцированная на поверхности породных отвалов удерживает влагу, пополняет запас органического вещества, и в целом создает микроклимат необходимый для других видов растений. В то же время растения конкурируют за пространство, свет, влагу, доступные элементы минерального питания и другие факторы роста. Так травяной покров на поверхности рекультивируемого уча-

стка поглощает влагу из поверхностного слоя, затрудняя развитие корневой системы саженцев деревьев и угнетая их рост.

Таким образом, при планировании биологического этапа рекультивации необходим экосистемный подход, позволяющий выявить сложные взаимоотношения между организмами внутри биологической системы и оценить влияние факторов окружающей среды на составляющие ее компоненты.

**Стратегии фиторекультивации нарушенных земель.** Опыт рекультивации породных отвалов Центрального Донбасса доказывает, что посадка древесных культур непосредственно после прекращения деятельности горного предприятия является малоэффективным мероприятием ввиду ряда причин. Во-первых, отсутствует почвенный покров, являющийся источником необходимых для роста деревьев питательных веществ, а породная масса не содержит их в достаточном количестве. Во-вторых, в породе, как правило, содержится широкий спектр химических элементов, например тяжелых металлов, и токсичных соединений, которые угнетают нормальный рост растений. Кроме того, для озеленения породных отвалов древесными породами требуется продолжительный период времени. Исследованиями установлено, что горнопромышленные ландшафты способны к естественной фиторекультивации благодаря самовосстанавливающей способности экосистем. Так, после прекращения эксплуатации породных отвалов при определенных климатических условиях может происходить произвольное самозаращение их поверхности типичными для данной местности растительными сообществами [5]. В целях создания благоприятной почвы для посадки быстрорастущих древесных культур целесообразно сначала создать на породном отвале искусственный фитоценоз, состоящий из типичных для данной местности травянистых растений. Для этого необходимо наиболее полно знать видовой состав растительности, которая заселяет техногенные ландшафты после прекращения горных работ.

При этом основная задача экологической технологии заключается в том, чтобы заметить, проанализировать и оценить этот природный потенциал самовосстановления техноэкосистемы с целью направленной рекультивации, а также спрогнозировать сценарий эколого-экономического развития территории на ближайшую и отдаленную перспективы.

При выборе стратегии фиторекультивации нарушенных горными работами земель логично решить следующие прикладные задачи:

- проанализировать физико-химические характеристики почв и пород и выделить лимитирующие факторы роста;
- предложить способы улучшения мелиоративных свойств почв и пород, определить оптимальную дозу внесения мелиорантов без угрозы вторичного загрязнения близлежащих территорий и водотоков;
- оценить видовой состав растительности на данной территории и выделить доминантные виды для направленной интродукции на нарушенных землях или насыпных массивах пород.

Данные задачи не являются универсальными, и выбор стратегии рекультивационных работ определяется в зависимости от специфических условий региона и направлений дальнейшего землепользования.

*Улучшение мелиоративных свойств почв и пород.* Технологии применения природных и искусственных удобрений на нарушенных землях с целью снабжения поверхностного слоя пород основными элементами минерального питания является толчковым механизмом для улучшения свойств пород и установления первичной растительности. Кроме химических соединений применяются солома, навоз, биоосадки сточных вод, остатки древесины и отходы различных производств и т.д. Тем не менее, следует учитывать, что наличие в отходах больших количеств неорганических соединений и тяжелых металлов может вызвать вторичное загрязнение территорий, нарушить трофические цепи питания и негативно повлиять на активность микроорганизмов в техноэкосистеме, которые модулируют круговорот элементов минерального питания растений [2].

*Землевание.* Нанесение слоя почвы или потенциально плодородных земель на поверхность насыпных массивов пород или нарушенных земель используется в практике рекультивации на протяжении нескольких десятилетий. Исследованиями доказано, что землевание не всегда является приемлемым и эффективным мероприятием, прежде всего из-за недостатка ресурса почвы [2]. Также со временем органические вещества из земляных буртов вымываются, и плодородие почвы существенно снижается.

*Подбор древесно-кустарниковой растительности для фиторекультивации.* Деревья и кустарники для рекультивации должны быть нетребовательны к условиям произрастания на техногенных землях, легко адаптироваться к негативным факторам среды, выдерживать межвидовую конкуренцию и сохранять способность к размножению. Предпочтение отдается видам способным фиксировать атмосферный азот, выносить недостаток питательных веществ и высокие концентрации токсичных соединений. Также хорошим вариантом лесотехнической рекультивации может быть применение видов деревьев типичных для данной местности вследствие их эволюционной адаптации.

*Роль пионерных сообществ.* Развитие устойчивого фитоценоза является долговременным процессом, поэтому на первых стадиях колонизации техногенно нарушенных земель формируются пионерные сообщества растительности, роль которых заключается в первичном накоплении органического вещества. Деревья и кустарники производят значительное количество листовенного опада, что способствует формированию почвенного субстрата [6].

Немногие виды деревьев и кустарников способны к освоению территорий с высоким уровнем загрязнения. Наиболее толерантными видами являются, например, белая акация и ольха, которые к тому же обладают азотфиксирующими функциями. Подобные виды используются для инициации круговорота питательных веществ в формирующейся экосистеме, улучшения механических и физико-химических параметров почвенного покрова и развития почвенной микрофлоры.

В табл. 1 приведен перечень деревьев и кустарников, наиболее часто используемых в мировой практике рекультивации техногенных ландшафтов.



Таблица 1

Деревья и кустарники, используемые для рекультивации [2]

Латинское название	Обычное название	Западная Европа	Восточная Европа	Россия	Украина	США, Канада
Acer spp.	Клен обыкновенный	•	•			•
Acer pseudo-platanus	Клен псевдоплатановый (явор)	•	•			
Alnus spp. <sup>1,2</sup>	Ольха	•	•			•
Betula spp.	Береза	•	•		•	
Crataegus spp.	Боярышник	•	•			
Elaeagnus ongustifolia	Лох узколистный	•				
Fraxinus alba	Ясень белый		•			
Fraxinus excelsior	Ясень европейский	•	•			•
Hippophae rhamnoides	Облепиха обыкновенная	•	•	•		
Juniperus spp.	Можжевельник					•
Larix spp.	Лиственница		•			•
Ligustrum vulgare	Бирючина		•			
Lonicera maackii <sup>4</sup>	Жимолость					•
Malus spp.	Яблоня				•	
Picea spp.	Ель		•	•		•
Pinus spp.	Сосна	•	•	•	•	•
Populus spp.	Тополь	•	•	•	•	•
Populus tremula	Осина	•	•	•	•	•
Prunus spp.	Слива	•				
Prunus avium	Черешня	•				
Pyrus spp.	Груша	•				
Quercus spp.	Дуб	•	•			•
Rhus tribolata	Сумах	•				•
Robinia pseudoacacia <sup>1</sup>	Акация белая		•		•	•
Salix spp.	Ива	•	•			•
Sambucus spp.	Бузина (самбук)	•				
Sorbus spp.	Рябина	•	•			
Spiraea spp.	Спирея, таволга	•	•			
Taxus spp.	Тис	•				
Tilia spp.	Липа	•	•		•	
Ulmus spp.	Вяз, ильм		•		•	

Примечание. Характерные свойства: <sup>1</sup>азотфиксирующие, <sup>2</sup>кислоточувствительные, <sup>3</sup>засухоустойчивые, <sup>4</sup>агрессивный сорняк

*Корневая система.* Пионерные виды обладают способностью приспособивать морфологически корневую систему к почвенному субстрату и адекватно реагировать на меняющиеся условия среды. Деревья и кустарники с мощной корневой системой, способной глубоко проникать в породный субстрат, являются наилучшим выбором для нужд лесотехнической рекультивации. С помощью таких видов можно эффективно закреплять склоны насыпных массивов и препятствовать эрозионным процессам.

*Доступность посадочного материала.* Для рекультивации больших площадей проблему представляет поиск посадочного материала. Растения, произрастающие в данной местности и подходящие для установления первичных сообществ, например акация белая, боярышник обыкновенный, виды шиповника и терна невозможно приобрести в озеленительных хозяйствах из-за отсутствия на них постоянного спроса. С другой стороны, саженцы таких видов как липа, клен, сосна, выращенные в тепличных условиях, могут не прижиться на техногенных территориях с неблагоприятными условиями произрастания.

*Прямой посев.* С целью снижения затрат на проведение биологического этапа рекультивации часто используется прямой посев семенного материала древесно-кустарниковой растительности. Подобная практика не всегда успешна, особенно в зонах с засушливым климатом, где количество влаги является лимитирующим фактором среды. Более того, высокие концентрации тяжелых металлов в породном субстрате и низкие значения  $pH$  губительно влияют на молодые проростки. Для установления пионерных сообществ наиболее приемлем прямой посев семян многолетних трав [5].

*Посадка саженцев из емкостей.* Посадка молодых саженцев деревьев, выращенных в контейнерах, дает положительные результаты. Контейнеры могут быть съемными или из биоразлагаемого материала, например торфа.

Саженцы деревьев, выращенные предварительно в емкостях, сохраняют развитую форму в объеме плодородной почвы и остаются неповрежденными при высадке в открытый грунт. После высадки в открытый грунт такие саженцы лучше приживаются в агрессивных условиях среды и обладают лучшей выносливостью по сравнению с растениями, высаженными в грунт голыми корнями. При этом, единственным фактором, лимитирующим рост растений, является недостаток влаги, так как земляной ком при контакте с породой и под воздействием внешних факторов (ветер, температура) подвергается иссушению. Поэтому биологический этап рекультивации с высадкой деревьев и кустарников целесообразно проводить по контуру нижнего основания отвалов и на нижних склонах, где количество влаги и привнесенных частиц почвы в верхнем слое породы достаточно для нормального роста [6].

Применение обогащенной почвы или мелиорантов при высадке саженцев в пробуренные лунки на поверхности отвалов создает первичную среду богатую доступными элементами питания, что способствует быстрому развитию мощной корневой системы, способной глубоко проникать вглубь субстрата.

*Временные рамки.* Биологический этап рекультивации целесообразно проводить в весенний период, поскольку поверхностный слой грунта достаточно прогрет и содержит в избытке влагу. Также необходимо учитывать, что

дни с переменной облачностью наиболее благоприятны для высадки саженцев растений в открытый грунт вследствие меньшей интенсивности испарения. В данный период органы растений в меньшей степени подвергаются иссушению и быстрее адаптируются к породному субстрату.

**Вывод.** Лесотехническая рекультивация земель в горнодобывающих регионах предполагает полное восстановление техногенных ландшафтов, включая контроль эрозионных процессов и создание условий для развития устойчивой и полноценно функционирующей природной экосистемы. Использование деревьев и кустарников, обладающих адаптационными функциями и толерантностью к неблагоприятным факторам среды, является наиболее эффективным способом рекультивации насыпных массивов пород.

На техногенных ландшафтах деревья растут относительно медленно вследствие низкой продуктивности земель и химического загрязнения. Поэтому установление плотного покрова из древесно-кустарниковой растительности может занять до нескольких десятков лет, что является недостатком лесотехнической рекультивации. Однако, несмотря на длительность создания устойчивого растительного покрова и первоначальные затраты на приобретение саженцев деревьев, длительная стратегия лесотехнической рекультивации представляется наилучшим вариантом планомерного восстановления техногенных территорий для нужд последующего эффективного использования.

#### Список литературы

1. Gray, D.H. 1995. Influence of vegetation on the stability of slopes. pp. 1-24. In: D.H. Barker (ed.), Vegetation and Slopes: Stabilization, Protection and Ecology, Inst. Civil Eng., London.
2. Haigh, M.J. 2000. Reclaimed Land: Erosion Control, Soils and Ecology. A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield.- 385 p.
3. Haigh, M.J. 1992. Degradation of 'reclaimed' lands previously disturbed by coal mining in Wales: causes and remedies. Land Degradation and Rehabilitation 3: 169-180.
4. Palmer, J.P. 1990. Nutrient cycling: the key to reclamation success? pp. 27-36. In: J.C. Chambers and G.L. Wade (eds.). Evaluating Reclamation Success: the Ecological Consideration. US For. Serv., NE For. Exper. Station, Broomall, PA, Gen. Tech. Rept. NE-164.
5. Ковров А.С. Исследование видового разнообразия растительности породного отвала ликвидированной шахты «Селидовская» // Сб. науч. тр. НГА Украины.- 2000.- №10.- С. 123-127.
6. Ковров А.С. Исследование приживаемости искусственно интродуцированных растительных сообществ на склонах породных отвалов // Сб. науч. тр. НГА Украины. - 2001.- №11, Т.1.- с. 113-119.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.  
Надійшла до редакції 05.03.2013*

## **ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД**

Проведена биоиндикационная оценка экологического состояния атмосферного воздуха на территориях функционирования железорудных шахт. Установлены закономерности изменения уровней повреждения биоиндикаторов от удельного расхода взрывчатых веществ и расстояния до источника выброса.

Проведена біоіндикаційна оцінка екологічного стану атмосферного повітря на територіях функціонування залізорудних шахт. Встановлено закономірності зміни рівнів ушкодження біоіндикаторів від питомої витрати вибухових речовин і відстані до джерела викиду.

Held bioindicative assessment of the environmental condition of air in areas of iron ore mines functioning is performed. The regularities of changes in the damage levels of bioindicators to the specific consumption of explosives and the distance to the emission source are set.

Минерально-сырьевая база железных руд Украины представлена 80 месторождениями, 30 из которых находятся в стадии эксплуатации. Открытым и подземным способами богатые железные руды и железистые кварциты добываются на месторождениях Криворожского бассейна, Кременчугского и Белозерского железорудных районов. Руды Криворожского бассейна разрабатываются 9 карьерами и 7 шахтами, Кременчугский железорудный район – 2 карьерами, Белозерский железорудный район – 2 шахтами [1].

Для снижения негативного влияния на окружающую среду во время проведения взрывных работ все железорудные карьеры переведены на бестротиловые эмульсионные взрывчатые вещества (ЭВВ). Как известно, при взрывании одного килограмма ЭВВ в воздух выбрасывается всего двадцать литров газа, что почти в четырнадцать раз меньше, чем при использовании тротилосодержащих взрывчатых веществ (ВВ).

Подземная добыча железных руд на территории Украины в основном осуществляется с применением тротилосодержащих ВВ. Ежегодно каждая шахта Криворожского бассейна использует 0,6–1,1 млн. кг ВВ, а Белозерского железорудного бассейна – 2,7–3,1 млн. кг ВВ. При взрывании 1 кг тротилосодержащих ВВ образуется 890–950 литров токсических газов [2, 3].

При подземной добыче железных руд с применением буровзрывных работ, в отработанный воздух шахт попадают загрязняющие вещества, которые выбрасываются через вентиляционные стволы в атмосферу без очистки. Такая ситуация объясняется отсутствием эффективного оборудования, позволяющего улавливать вредные вещества из отработанного воздуха выдающегося на поверхность на большой скорости и в значительных объемах. Вредные вещества, содержащиеся в выбросах шахт, рассеиваются на прилегающих территориях и представляют опасность для живых организмов, включая человека. Поэтому, возникает необходимость оценки экологического состояния атмосферного воздуха на территориях, прилегающих к железорудным шахтам.

Для оценки качества окружающей среды применяют методы физико-химического анализа, которые позволяют определить концентрации вредных веществ в выбросах. Учитывая, то, что в результате проведения буровзрывных работ могут образовываться токсичные вещества, возникает необходимость применения высокочувствительных биоиндикационных методов, которые отражают биологическую активность совокупности загрязнителей. При этом, наиболее чувствительными являются цитогенетические методы биоиндикации, которые позволяют улавливать негативные изменения в биологических системах на ранних стадиях их проявления [4–6].

**Цель работы** проведение оценки экологического состояния атмосферного воздуха на территориях размещения железорудных шахт с использованием методов биоиндикации.

**Материалы и методы исследования.** Исследования были проведены на территории, прилегающей к железорудной шахте ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» (ЗАО «ЗЖРК»), вокруг трех вентиляционных стволов: северного, южного и дренажного (СВС, ЮВС и ДВС), из которых отработанная струя воздуха выбрасывается в атмосферу. Экологическое состояние атмосферного воздуха определялось методом биоиндикации с использованием высокочувствительного цитогенетического теста «Стерильность пыльцы растений». Пробы растений отбирали в четырех направлениях света на расстоянии 50, 100, 300, 500, 1000 и 2000 м от трех вентиляционных стволов. Исследования проводили в весенне-летние сезоны 2009–2011 гг.

Полученные результаты были переведены в единую систему условных показателей повреждаемости (УПП) биосистем. Для оценки экологического состояния атмосферного воздуха использовали оценочную шкалу [5, 6]. Результаты биоиндикационных исследований были использованы для определения уровней общего токсико-мутagenного фона атмосферного воздуха, обусловленного комплексным действием загрязнителей окружающей среды.

В результате проведенных исследований было установлено, что в 2009 г. наибольшие значения условных показателей повреждаемости биоиндикаторов в диапазоне 0,400–0,550 у.е. наблюдаются на расстоянии до 500 м от источников выброса. По мере удаления от источника выбросов (от 500 до 2000 м) наблюдается уменьшение УПП биоиндикаторов с 0,400 до 0,250 у.е., а на расстоянии более 2000 м УПП уменьшается до 0,200 у.е.

В 2010 г. было установлено, что на расстоянии 600–700 м от источников выброса происходит уменьшение УПП с 0,600 до 0,400 у.е. При дальнейшем удалении от источника выброса от 700 до 2000 м УПП уменьшается до 0,300–0,250 у.е. На расстоянии свыше 2000 м от источника выброса УПП приближается к 0,200 у.е.

По результатам исследований проведенных в 2011 г. установлено, что вблизи источников выброса на расстоянии до 500–600 м УПП уменьшается с 0,600 до 0,400 у.е. Далее с увеличением расстояния от 500 до 2000 м происходит дальнейшее уменьшение УПП с 0,400 до 0,250 у.е. Свыше 2000 м УПП уменьшается до 0,200 у.е.

Условные показатели повреждаемости биоиндикаторов на различных расстояниях от источников выброса были использованы для построения карты

изолиний, характеризующих уровни токсико-мутагенной активности атмосферного воздуха (рис. 1–3).



Рис. 1. Изолинии условных показателей повреждения биоиндикаторов на территории, прилегающей к ЗАО «ЗЖРК», 2009 г.



Рис. 2. Изолинии условных показателей повреждения биоиндикаторов на территории, прилегающей к ЗАО «ЗЖРК», 2010 г.



Рис. 3. Изолинии условных показателей повреждения биоиндикаторов на территории, прилегающей к ЗАО «ЗЖРК», 2011 г.

Анализ данных рис. 1–3 выявил, что наибольшие уровни повреждения биоиндикаторов наблюдаются в южном, восточном и северном направлениях от источников выбросов.

Общую картину изменения значений УПП с увеличением расстояния от источника выброса можно наблюдать по изменению их значений за исследуемый период 2009–2011 гг. (рис. 4). Выполненный анализ позволил установить, что с увеличением расстояния до 2000 м от источника выброса значения УПП уменьшаются в 1,5–2 раза.

Проведя аппроксимацию максимальных значений, получены эмпирические уравнения зависимостей УПП от расстояния до источника выброса за период 2009–2011 гг.

Для 2009 г. эмпирическая зависимость имеет вид:

$$УПП = 0,54 \cdot e^{-0,0003 \cdot L}, \text{ у.е., при } R = 94,5 \%, \quad (1)$$

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

$R$  – достоверность аппроксимации, %.

Для 2010 г. эмпирическая зависимость имеет вид:

$$УПП = 0,53 \cdot e^{-0,0003 \cdot L}, \text{ у.е., при } R = 92,2 \%. \quad (2)$$

Для 2011 г. эмпирическая зависимость имеет вид:

$$УПП = 0,49 \cdot e^{-0,0003 \cdot L}, \text{ у.е., при } R = 94,5 \%. \quad (3)$$

Для 2009–2011 гг. эмпирическая зависимость имеет вид:

$$УПП = a \cdot e^{-b \cdot L}, \quad (4)$$

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

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

$$a = 0,41 \cdot q^{-0,53} ; \quad (5)$$

$$b = -0,0003 . \quad (6)$$

Подставив уравнения (5) и (6) в выражение (4) и выполнив необходимые преобразования, получим эмпирическую формулу для определения УПП с учетом удельного расхода ВВ и расстояния от источника выброса:

$$УПП = 0,41 \cdot q^{-0,53} \cdot e^{-0,0003 \cdot L} , \text{ у.е.}, \quad (7)$$

где  $q$  – удельный расход ВВ, кг/т.

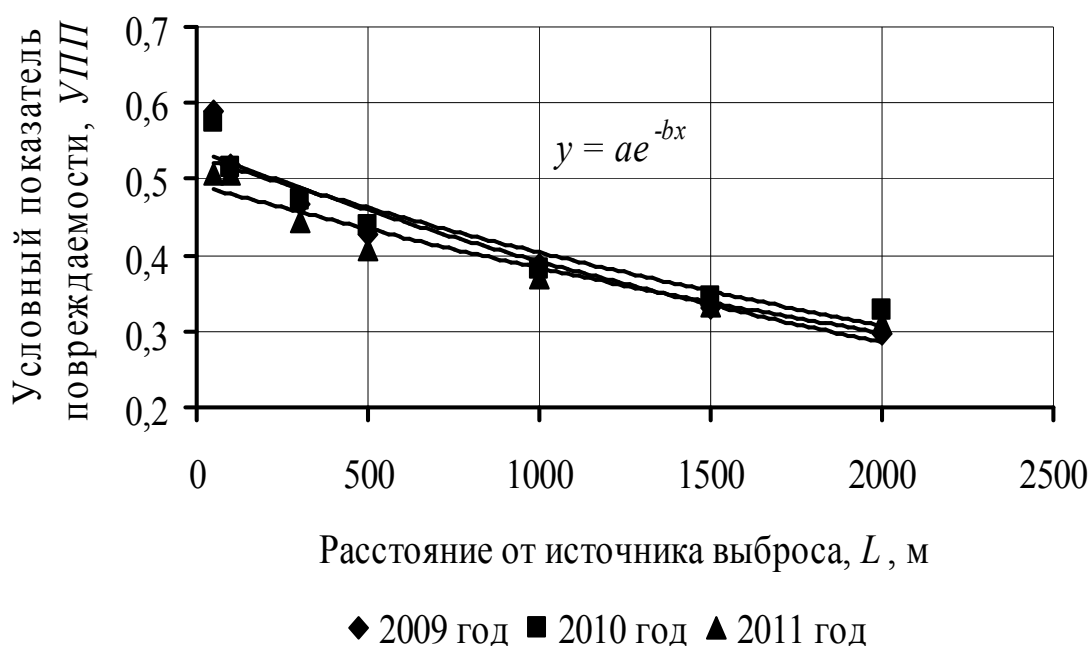


Рис. 4. Характер изменения УПП от расстояния до источника выброса

**Выводы.** В результате проведенных исследований на территории размещения железорудных шахт были установлены уровни повреждения биоиндикаторов произрастающих на территориях прилегающих к вентиляционным стволам шахт. Наибольшие уровни повреждения биоиндикаторов выявлены на расстоянии до 500 м от источника выбросов. По мере удаления от вентиляционных стволов железорудной шахты наблюдается уменьшение уровней повреждаемости растительных организмов.

Установлено, что условные показатели повреждаемости биоиндикаторов зависят от удельного расхода ВВ и расстояния от источника выброса и изменяется по экспоненциальной зависимости. Определение УПП растений позволит спрогнозировать и установить области экологического риска вокруг источников выброса.

Выявленные в результате проведенных исследований уровни повреждения биоиндикаторов подтверждают необходимость разработки комплекса природоохранных технологий, позволяющих повысить уровни экологической безопасности подземной добычи железных руд.



### Список литературы

1. 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. – На русском языке.
2. Покорители недр таврии. Посвящается добыче 100-миллионной тонне руды! / [под коорд. В. В. Фортунина]. – Запорожье: Цель, 2003. – 156 с.
3. 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.
4. Паушева З.П. Практикум по цитологии растений. - М.: Агропромиздат. 1988. – 255 с.
5. Горовая А.И., Бобырь П.Ф., Скворцова Т.В., Дигурко В.М., Климкина И.И. Методологические аспекты оценки мутагенного фона и генетического риска для человека и биоты от действия мутагенных экологических факторов // Цитология и генетика. — 1996. — Т.30, №6, С.78-86.
6. МР 2.2.12 – 141 – 2007 Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів / [С.А. Риженко, А.І. Горова, Т.В. Скворцова та ін.] – К.: Головне базове видавництво МОЗ України ДП "Центр інформаційних технологій", 2007 – 35 с.

*Рекомендовано к публикации д.б.н. Горовой А.И.  
Поступила в редакцию 18.04.2013*

УДК 622. 807

© А.А. Юрченко

## **ОБОСНОВАНИЕ СТЕПЕНИ ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ВОДЫ ПРИ ОРОШЕНИИ ОБЛАКА ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ПЫЛИ ПОСЛЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ В КАРЬЕРАХ**

Наведені теоретичні основи методики розрахунку швидкості осідання аерозольних часток із пилогазової хмари при масовому вибухові в кар'єрі. Надані результати розрахунку швидкості осідання залізорудного пилу та капель води з розмірами часток як в області дії закону Стокса, так і за її межами. Визначено необхідний діаметр капель води, при якому досягається ефективне пригнічення хмари залізорудного пилу при її зрошуванні.

Приведены теоретические основы методики расчёта скорости осаждения аэрозольных частиц из пылегазового облака при массовом взрыве в карьере. Даны результаты расчёта скорости осаждения железорудной пыли и капель воды с размерами частиц как в области действия закона Стокса, так и вне её пределов. Установлено необходимый диаметр капель воды, при котором достигается эффективное подавление облака железорудной пыли при его орошении.

The theoretical basis of methods for calculating the rate of floating of aerosol particles of dust and gas clouds at a mass explosion in open-pit s given. The results of calculating the rate of floating of iron ore dust and water droplets with a particle size both according to Stokes law and outside its limits are represntal. The reguired desired diameter of water drops, at which the efficient suppression of the iron ore dust clouds during its irrigation is established.

**Вступление.** При массовом взрыве в карьере в атмосфере образуется пылегазовое облако, состоящее из смеси пыли и взрывных газов. Высота

подъёма облака зависит от мощности взрыва и может достигать 1,5 км [1]. Интенсивность образования пыли зависит от удельного расхода ВВ, изменяется в широких пределах и для условий Кривбасса составляет от 10 до 150 кг/м<sup>3</sup>. Концентрация пыли в облаке при этом составляет до 4000 мг/м<sup>3</sup>. По дисперсному составу частицы с диаметром до 1,4 мкм составляют около 11 %. На долю частиц с диаметром 1,4-4 мкм приходится до 12 %, с диаметром 4–15 мкм – до 27 %. Крупнодисперсная пыль с диаметрами частиц от 15 до 100 мкм представлена до 50 % от общей концентрации пыли [2]. Химический состав пыли зависит от вида взрывааемого горного массива.

**Постановка задачи.** При решении вопросов борьбы с пылегазовым облаком путём его орошения с целью снижения загрязнения атмосферы и прилегающих территорий необходимо установить требуемую степень диспергирования воды, при которой капли воды будут оседать быстрее пылевых частиц и тем самым обеспечивать “прочёсывание” ими пылевого облака. В этой работе рассматривается расчёт скорости осаждения аэрозольных частиц железорудной пыли и капель воды в гравитационном поле без учёта ветровой нагрузки, то есть в безветренную погоду.

**Изложение материала исследований.** В пылегазовом облаке сразу после взрыва в результате воздействия на пылевые частицы динамического фактора выброса из очага взрыва продуктов детонации и термического фактора из-за их высокой температуры пыль движется вверх. Причём высота подъёма частиц зависит также от их диаметра и плотности. При уравнивании сил, вызывающих движение частицы вверх, и сил сопротивления движению пылевая частица останавливается. И затем частица начинает движение вниз под действием силы тяжести  $F_g = mg$ , где  $m$  – масса частицы, кг;  $g$  – ускорение земной тяжести, м/с<sup>2</sup>. Противодействует движению частицы вниз выталкивающая сила Архимеда  $F_A = \rho_0 Vg$ , где  $\rho_0$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – объём частицы, м<sup>3</sup>, а так же сила трения среды, которая при ламинарном режиме движения среды пропорциональна скорости движения частицы (Рис.1). Сила трения среды может быть выражена как  $F_{mp} = K\vartheta$ , где  $K$  – коэффициент сопротивления для области течения, Нс/м,  $\vartheta$  – скорость осаждения пылевой частицы, м/с [3].

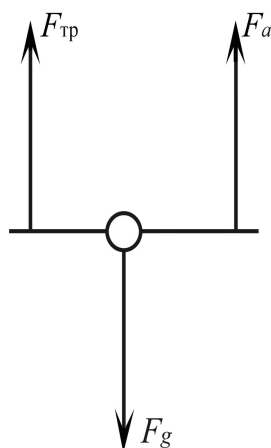


Рис.1. Силы, действующие на частицу при её осаждении

Для определения коэффициента сопротивления Стокс решил совместно уравнение движения Навье – Стокса и сплошности:

$$\frac{Du}{dt} = F - \frac{1}{\rho} \text{grad}P + \frac{\mu}{\rho} \bar{V}^2 \vartheta; \quad (1)$$

$$diV\vartheta = 0. \quad (2)$$

В результате совместного решения уравнений (1) и (2) он получил значение коэффициента сопротивления:

$$K = 3\pi\mu d,$$

где  $\mu$  - динамическая вязкость воздуха, Па с;  $d$  – диаметр пылевой частицы, м.

При решении уравнений были приняты допущения:

- сфера обтекается безграничным однородным потоком вязкой жидкости;
- обтекание медленное, стационарное, поэтому инерционными членами в уравнении можно пренебречь и учесть только силы давления и трения;
- объёмные силы отсутствуют.

Вначале пылевая частица движется ускорено, а затем сила трения среды  $F_{mp}$  уравнивает силу седиментации  $F_g - F_A$ :

$$F_{mp} = F_g - F_A. \quad (3)$$

После подстановки значений сил выражение (3) примет вид:

$$3\pi\mu d\vartheta = mg - \rho_0 Vg$$

Выразим массу и объём частицы как  $m = \rho V$ , а  $V = \frac{\pi d^3}{6}$ , то тогда выражение (3) примет вид:

$$3\pi\mu d\vartheta = \frac{\rho g \pi d^3}{6} - \frac{\rho_0 g \pi d^3}{6}.$$

Откуда после преобразований и сокращений получаем:

$$\vartheta = \frac{g(\rho - \rho_0)d^2}{18\mu}.$$

Плотностью воздуха  $\rho_0$  по сравнению с плотностью пылевых частиц можно пренебречь. В этом случае скорость осаждения частиц пыли определится по выражению:

$$\vartheta = \frac{g\rho d^2}{18\mu}. \quad (4)$$

Выражение (4) является формулой Стокса для определения скорости осаждения пылевых частиц в воздухе под действием сил гравитации [4, 5]. Однако ввиду принятых допущений область её применения ограничивается как по числу Рейнольдса, так и по размеру частиц. Значительные отклонения от формулы Стокса возникают в том случае, когда диаметр частиц соизмерим с длиной свободного пробега молекул газа. Хорошее совпадение формула даёт при числах Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{\rho_0 \vartheta d}{\mu} < 1 \quad (5)$$

С ростом числа  $\text{Re}$  на поверхности частицы возникают проскальзывания газа, то есть свойства газа начинают отличаться от свойств сплошной среды. В

кормовой области за частицей возникают вихревые зоны. Пограничный слой на поверхности частицы турбулизируется. При  $Re > 10^2$  образуются так называемые дорожки Кармана, состоящие из оторвавшихся вихрей. Сопротивление трения заметно возрастает. Величина инерционных членов уравнения Навье – Стокса в области  $Re > 10^4$  становится соизмеримой с вязкостными. В этом случае сила сопротивления пропорциональна квадрату скорости и определяется по выражению

$$F_c = \xi 0,5 \rho_0 g^2 \pi r^2,$$

где  $\xi = f(Re)$  – коэффициент сопротивления частицы, определяемый в общем случае по экспериментальным данным и зависящий от режима обтекания;  $r$  – радиус пылевой частицы, м.

Весь диапазон значений  $Re$  можно разделить на несколько областей, в пределах которых зависимость  $\xi = f(Re)$  можно аппроксимировать простыми формулами.

Так, в области действия закона Стокса для  $Re$  от 0,01 до 1  $\xi = \frac{24}{Re}$ .

В диапазоне  $Re = 10 \dots 10^3$  приемлема формула  $\xi = \frac{12}{\sqrt{Re}}$ .

В области развитого турбулентного течения, где  $Re > 10^4$ , коэффициент сопротивления практически не зависит от изменения числа  $Re$  и для сферы равен  $\xi = 0,45$ .

Для расчётов удобно пользоваться формулой вида  $\xi = \frac{A}{Re^n}$ , где коэффициенты  $A$  и  $n$  в зависимости от числа  $Re$  приведены в работе [3].

Скорость осаждения пылевой частицы можно определить и по методу Лященко. При этом скорость осаждения выражают через число Рейнольдса  $g = \frac{Re \mu}{\rho_0 d}$  и подставляют в уравнение осаждения частицы  $F_g = F_c$  или

$$\frac{1}{6} \pi d^3 (\rho - \rho_0) g = \frac{1}{2} \xi \rho_0 \frac{Re^2 \mu^2 \pi d^2}{\rho_0^2 d^2 4}.$$

Это уравнение сводится к виду

$$\xi Re^2 = \frac{4 d^3 \rho_0^2 (\rho - \rho_0) g}{3 \mu^2}, \quad (6)$$

где  $\frac{d^3 \rho_0^2 (\rho - \rho_0) g}{\mu^2} = Ar$  представляет собой число Архимеда.

В этом случае  $Ar = \frac{3}{4} \xi Re^2$ . Далее можно выразить число Рейнольдса для двух предельных случаев:

для стоксовской области  $Re < 1$ ;  $\xi = \frac{24}{Re}$ ;  $Re = \frac{Ar}{18}$ ;

для области  $Re > 10^4$ ;  $\xi = 0,45$ :  $Re = \frac{\sqrt{Ar}}{0,6}$ .

В целом для всего диапазона чисел Рейнольдса достаточную для ориентировочных расчётов точность даёт приближённая формула Годеса:

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0,61\sqrt{Ar}}. \quad (7)$$

В результате вышеизложенного расчёт скорости осаждения пылевых частиц в гравитационном поле осуществляют в следующем порядке:

- 1) рассчитывают скорость осаждения по формуле Стокса (4);
- 2) проверяют полученную скорость на число Рейнольдса по выражению (5);

3) если  $Re > 1$ , то формулу Стокса применять нельзя, так как получен ошибочный результат;

4) определяют число Архимеда по выражению (6);

5) по известному числу Архимеда определяют число Рейнольдса по формуле Годеса (7);

6) определяют скорость осаждения частицы через число Рейнольдса по выражению  $\vartheta = \frac{Re \mu}{\rho_0 d}$ .

Для оценки загрязнения прилегающих к карьеру территорий необходимо знать скорость осаждения пылевых частиц в гравитационном поле. Кроме этого, при решении вопросов пылеподавления с помощью орошения облака важно иметь данные о скорости осаждения капель воды. В табл.1 представлены результаты расчётов скорости осаждения пылевых частиц и капель воды различных диаметров. На рис.2 в графическом виде представлены зависимости скорости осаждения частиц железорудной пыли и капель воды от их диаметров в стоксовской и надстоксовской областях. При этом скорость оседания частиц железорудной пыли находится в диапазоне от 0,00012 до 0,995 м/с.

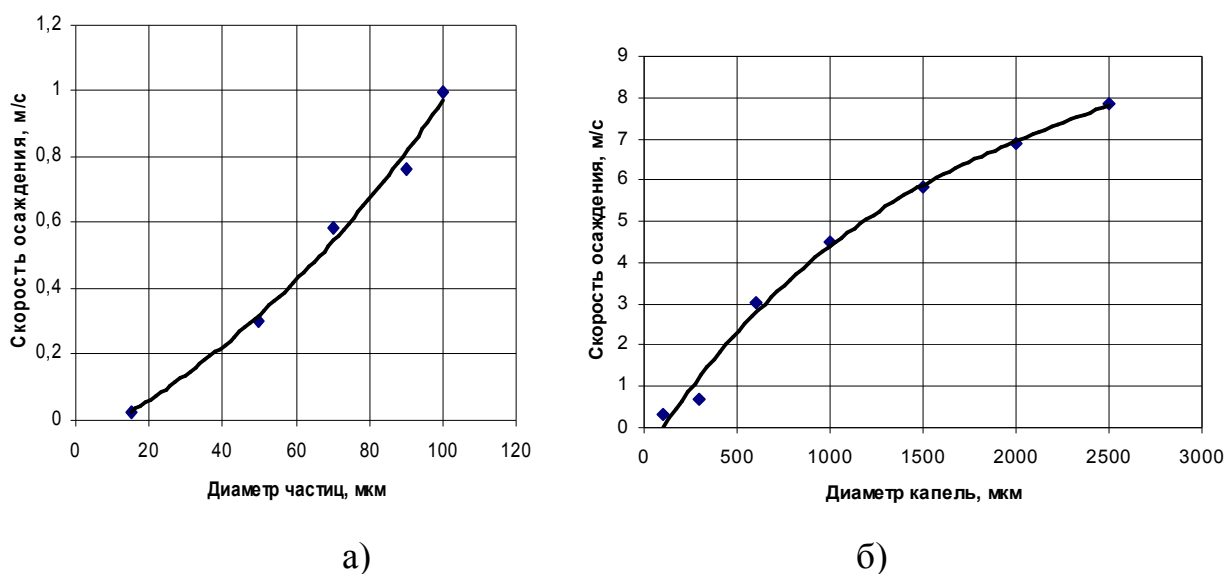


Рис. 2. Скорость осаждения аэрозольных частиц различного диаметра:  
а) железорудной пыли; б) капель воды

Таблица 1

Скорость осаждения железорудной пыли и капель воды  
в гравитационном поле

Вид аэрозольных частиц	Диаметр частиц, м	Скорость осаждения частиц, м/с	Число Рейнольдса
Железорудная пыль, $\rho = 4000 \text{ кг/м}^3$	$1 \cdot 10^{-2}$	0,00012	$0,0008 \cdot 10^{-2}$
	$2 \cdot 10^{-2}$	0,00048	0,00011
	$3 \cdot 10^{-6}$	0,00108	0,00021
	$4 \cdot 10^{-6}$	0,00191	0,00050
	$5 \cdot 10^{-6}$	0,00299	0,0010
	$6 \cdot 10^{-6}$	0,00431	0,0017
	$7 \cdot 10^{-6}$	0,00587	0,0027
	$8 \cdot 10^{-6}$	0,00766	0,0040
	$9 \cdot 10^{-6}$	0,00970	0,0056
	$10 \cdot 10^{-6}$	0,0120	0,0079
	$11 \cdot 10^{-6}$	0,0145	0,0110
	$12 \cdot 10^{-6}$	0,0172	0,0136
	$13 \cdot 10^{-6}$	0,0202	0,0173
	$14 \cdot 10^{-6}$	0,0235	0,0217
	$15 \cdot 10^{-6}$	0,0269	0,0265
	$20 \cdot 10^{-6}$	0,0479	0,0631
	$30 \cdot 10^{-6}$	0,1077	0,2129
	$40 \cdot 10^{-6}$	0,1915	0,5048
	$50 \cdot 10^{-6}$	0,2996	0,9871
	Капли воды, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$	$51 \cdot 10^{-6}$	0,3110
$55 \cdot 10^{-6}$		0,3620	1,3130
$60 \cdot 10^{-6}$		0,4310	1,7050
$70 \cdot 10^{-6}$		0,5860	2,7050
$80 \cdot 10^{-6}$		0,7660	4,0400
$90 \cdot 10^{-6}$		0,9950	5,7500
$100 \cdot 10^{-6}$		0,9650	7,9015
$10 \cdot 10^{-6}$		0,003	0,002
$20 \cdot 10^{-6}$		0,012	0,016
$30 \cdot 10^{-6}$		0,027	0,053
$40 \cdot 10^{-6}$		0,048	0,126
$50 \cdot 10^{-6}$		0,075	0,247
$60 \cdot 10^{-6}$		0,108	0,426
$70 \cdot 10^{-6}$		0,147	0,676
$80 \cdot 10^{-6}$		0,192	1,009
$90 \cdot 10^{-6}$		0,244	1,450
$100 \cdot 10^{-6}$		0,300	1,940
$300 \cdot 10^{-6}$		0,677	29,730
$600 \cdot 10^{-6}$		3,04	120,270
$1000 \cdot 10^{-6}$		4,49	296,040
$1500 \cdot 10^{-6}$	5,83	576,710	
$2000 \cdot 10^{-6}$	6,91	910,940	
$2500 \cdot 10^{-6}$	7,83	1290,800	

Для повышения эффективности пылеподавления капли орошаемой жидкости должны иметь значительно больший диаметр и, соответственно, значительно больше скорость осаждения. При этом обеспечивается "прошивание" облака каплями орошаемой жидкости. Капли воды имеют скорость оседания, равную скорости оседания крупнодисперсной железорудной пыли, при диаметре 400 мкм. С учётом полученных результатов исследований коэффициента захвата аэрозольных частиц каплями воды при их орошении, которые приведены в работе [6], для эффективного подавления облака железорудной пыли диаметр капель воды должен быть 1000 – 1500 мкм. При этом скорость осаждения капель воды составляет 4,5 – 6,5 м/с, которая значительно выше скорости частиц пыли, в том числе и крупнодисперсной.

Такие диаметры капель имеет вода при самодиспергировании в процессе осаждения в атмосферном воздухе под действием сил гравитации [7].

**Выводы.** Проведенные теоретические исследования позволили установить:

1. Максимальный диаметр аэрозольных частиц, для расчёта скорости осаждения которых правомочно применить закон Стокса, для железорудной пыли составляет 50 мкм, а для капель воды – 80 мкм.

2. Рассчитаны скорости осаждения частиц железорудной пыли и капель воды с диаметрами вне стоксовской области по усовершенствованной методике.

3. Обоснованный диаметр капель воды, при котором обеспечивается наиболее эффективное пылеподавление при орошении облака железорудной пыли, составляет 1–1,5 мм, скорость осаждения которых в гравитационном поле составляет 4–6 м/с. Этим достигается превышение в несколько раз скорости осаждения даже крупнодисперсной железорудной пыли и обеспечивается "прошивание" облака пыли каплями воды.

#### Список литературы

1. Дриженко А. Ю., Козенко Г. В., Рыкус А.А. Открытая разработка железных руд Украины. Состояние и пути совершенствования. Полтава: "Полтавский литератор", 2009. 451с.
2. Тыщук В. Ю. Проблемы экологии при ведении открытых горных работ. // Материалы научно – практической конференции "Проблемы экологии - 97" (С. – Петербург, 12 – 14 ноября 1997 г.). – С. – Петербург: НИЦЭБ РАН, БГТУ, 1997. – С. 458.
3. Белоусов В.В. Теоретические основы процессов газоочистки. – М.: Металлургия, 1988. - 256с.
4. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы. –М.: Изд-во "Химия", 1969. -427с.
5. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. – М.: Изд-во АН СССР. -1955,-351с.
6. Юрченко А. А. Исследование коэффициента захвата аэрозольных частиц каплями воды при орошении. //Збірник наукових праць Національного гірничого університету № 39, Дніпропетровськ, 2012. –С. 187 – 194.
7. Берлянд М. Е. Прогноз регулирования загрязнения атмосферы. – Л.: Гидрометиздат, 1985, 272с.

*Рекомендовано до публікації д. т. н. Голіньком В. І.  
Надійшла до редакції 05.03.2013*

## ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ РОБОТИ ОЧИСНИХ СПОРУД СТИЧНИХ ВОД ПАТ «ДМКД» м. ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКА ТА РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ БІОЛОГІЧНОЇ ДООЧИСТКИ ВОДИ

Приведен анализ работы биологических сооружений на металлургическом комбинате в г. Днепродзержинске. Предложен способ повышения эффективности процесса очистки сточных вод.

Наведено аналіз роботи біологічних споруд на металургійному комбінаті у м. Дніпродзержинську. Запропоновано спосіб підвищення ефективності процесу очистки стічних вод.

Results of analysis of the work of biological buildings on metallurgic combine in Dneprodzerzhinsk are considered. The methods of the rise of effectivity of the processes of the cleaning of waste water are proposed.

**Вступ.** Негативний вплив на довкілля та здоров'я населення спричиняють підприємства хімічного, металургійного комплексу, енергетики та деяких інших галузей. Особливо гостро у Дніпродзержинську стоїть проблема забруднення атмосфери, поверхневих та підземних вод. Питанням підвищення ефективності очистки води у місті присвячується постійна увага фахівців кафедри екології ДДТУ [1,2].

Головним джерелом питної і свіжої технічної води для всіх підприємств міста є річка Дніпро: вода подається двома водоводами – Аульським і Придніпровського хімзаводу, загальне споживання Аульського водозабору становить 179,5 тис. м<sup>3</sup>/добу. Окрім свіжої технічної води головні підприємства, такі як: ПАТ «ДМКД», ВАТ «Дніпроазот», ВАТ «Баглійкокс», ЗАО «ДЗМУ» мають оборотне і повторне водопостачання. Крім того, у великих підприємств є локальні забори технічної води з річки Дніпро. Значну частину води в кількості 29,3 тис. м<sup>3</sup>/год. споживає ПАТ «ДМКД».

Частина вод, що забираються підприємством після використання, знову надходить у Дніпро.

Вода використовується в основному для технологічних потреб, охолодження обладнання, а також для вологої очистки викидів газів, пилу та інше. Первинну очистку стічні води проходять безпосередньо у цехах і потім надходять на біологічну доочистку у буферні ставки. Але до кінця вони недостатньо очищуються і у Дніпро надходять токсичні речовини, такі як важкі метали, роданіди, ціаніди, феноли та інші. Окрім того, частина вод мають так зване термальне забруднення. Таким чином, стічні води ПАТ «ДМКД» потребують більш надійного очищення спочатку в ставку-освітлювачі і доочищення безпосередньо в біологічному ставку.

**Метою роботи** є аналіз ефективності процесу біологічного очищення стічних вод ПАТ «ДМКД» та вибір способів інтенсифікації протікання процесів БХО шляхом створення оптимальних умов для розвитку вищої водної рослинності (ВВР) та мікробоценозу в біологічному ставку.



Таблиця 1 – Якісний склад стічних вод ПАТ «ДМКД» після(за 2012 рік)

№ п/п	Показник	Вміст забруднюючих речовин, мг/дм <sup>3</sup>													
		січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	Середнє значення	ГДС
1	Розч. кисень	9,42	9,57	9,79	8,83	7,91	7,61	7,51	6,45	7,25	7,34	8,6	9,27	8,30	
2	БСК <sub>5</sub>	2,27	2,18	2,35	2,32	2,36	2,37	2,22	2,29	2,22	2,28	2,37	2,28	2,29	2,34
3	ХПК	25,23	25,44	25,41	25,84	25,09	24,55	25,82	25,59	25,88	25,87	26,03	25,47	25,52	25,65
4	Завислі речовини	7,03	7	7,05	6,94	6,94	6,79	7,2	7,46	7,11	7,12	7,01	7,1	7,06	7,1
5	Сухий залишок	351,1	362,83	362,12	356,9	348,63	348,12	362,25	350,06	365,5	363,25	365,5	357,7	357,83	365,5
6	Хлориди	34,3	34,59	34,99	34,95	33,07	35,31	34,45	34,45	33,9	34,51	34,29	34,8	34,47	35,28
7	Сульфати	33,97	33,97	33,83	33,11	34,25	34,06	33,84	29,33	34,39	33,84	33,66	34,54	33,57	34,06
8	Азот амонійний	0,395	0,392	0,36	0,359	0,386	0,338	0,358	0,313	0,371	0,36	0,388	0,35	0,36	0,395
9	Нітриди	0,2	0,207	0,203	0,199	0,198	0,191	0,206	0,205	0,198	0,207	0,206	0,2	0,20	0,2
10	Нітрати	6,58	5,84	6,07	5,84	6,02	5,56	5,65	5,88	5,92	6,02	5,77	5,83	5,92	6,2
11	Фосфати	0,427	0,393	0,373	0,416	0,398	0,405	0,307	0,329	0,435	0,402	0,399	0,402	0,39	0,4
12	Залізо заг.	0,326	0,353	0,332	0,327	0,33	0,319	0,341	0,334	0,305	0,322	0,318	0,305	0,33	0,3
13	Нафтопродукти	0,28	0,29	0,3	0,309	0,312	0,313	0,307	0,292	0,289	0,304	0,307	0,293	0,30	0,3
14	Ціаніди	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
15	Роданіди	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
16	Феноли	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,00	0,001
17	АПАР	0,017	0,016	0,019	0,028	0,017	0,013	0,03	0,017	0,022	0,019	0,022	0,02	0,02	0,2
18	Цинк (+2)	0,0049	0,0062	0,0054	0,0052	0,0068	0,005	0,0087	0,0061	0,0075	0,007	0,0086	0,0066	0,01	0,001
19	Хром (+3)	0,001	0	0,001	0	0,001	0,001	0,001	0	0	0	0,001	0,001	0,00	0,01
20	Хром (+6)	0,001	0,0014	0,001	0,001	0,0013	0,001	0,001	0,001	0,0018	0,0014	0,0014	0,0019	0,00	0,001

**Методи дослідження.** Дослідження фізико-хімічних показників якості води в процесі і після біологічної очистки проведено у квітні 2013 р. сумісно з співробітниками Центральної хімічної лабораторії комбінату ПАТ «ДМКД» за прийнятими методиками. Проби води були відібрані у трьох місцях по ходу очистки стічних вод: на вході у ставок-освітлювач, на вході у біологічний ставок та на випуску води у річку Дніпро. Також були проаналізовані дані гідробіологічного, альгологічного аналізу біоценозу мікроорганізмів у біологічному ставку [3] та дані хімічного аналізу за період із 01.2012 по 12.2012 р.р.

**Результати роботи.** Проведено дослідження якості очистки води після БХО на підприємстві ПАТ «ДМКД» за період 2012 рік. Середні значення за рік показників вмісту забруднюючих речовин у стічній воді після біологічної очистки (табл.1) у порівнянні із нормативами ГДС в основному не перевищують встановленого нормативу, окрім заліза загального, яке перевищує норматив більше як на 10%-20%; хрому (VI) – 2ГДС; цинку (II) – 9ГДС. Але якщо проаналізувати якість біологічної очистки в окремі сезони, виявляється значно більше показників, які перевищують нормативи ГДС (табл. 2).

Таблиця 2

Показники якості очищеної води для сезонів 2012 р.

Показники	Концентрація у стічних водах на скидці із біоставка у р. Дніпро, мг/дм <sup>3</sup>				ГДС, мг/дм <sup>3</sup>
	Зима	Весна	Літо	Осінь	
1. Розчинений кисень	9,42	8,84	7,19	7,73	
2. БПК <sub>5</sub>	2,24	2,34	2,29	2,29	2,34
3. ХПК	25,38	25,44	25,32	25,92	25,65
4. Завислі речовини	7,04	6,97	7,15	7,08	7,10
5. Сухий залишок	357,21	355,88	353,47	364,75	365,5
6. Хлориди	34,56	34,33	34,73	34,23	35,28
7. Сульфати	34,16	33,73	32,41	33,96	34,06
8. Азот амонійний	0,379	0,368	0,336	0,373	0,395
9. Нітрити	0,202	0,2	0,2	0,203	0,2
10. Нітрати	6,08	5,97	5,69	5,9	6,2
11. Фосфати	0,407	0,395	0,347	0,412	0,4
12. Залізо загальне	0,328	0,329	0,331	0,315	0,3
13. Нафтопродукти	0,287	0,307	0,304	0,3	0,3
14. Ціаніди	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
15. Роданіди	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
16. Феноли	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
17. АПАР	0,017	0,021	0,02	0,021	0,2
18. Цинк (+2)	0,0059	0,0058	0,0066	0,0077	0,001
19. Хром (+3)	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01
20. Хром (+6)	0,0014	0,0011	0,001	0,0015	0,001
21. Алюміній (+3)	-	-	-	-	0,15
22. Температура, °С	5,85	13,71	30,02	19,73	

Так, у таблиці 2 зеленим кольором виділено усі перевищення ГДС по окремим показникам у різні сезони 2012 р.

Аналіз ефективності роботи біологічного ставка. У зимовий та весняний періоди відбулося перевищення за п'ятьма показниками; влітку – за чотирма показниками і найгірші показники роботи біологічного ставка відмічалися в осінній період – за сімома показниками. При цьому середня температура весною склала приблизно 14 °С, а в осінній період середня температура – 20 °С. Пояснити зниження ефективності роботи лише впливом температурного режиму роботи біоставка не буде правильним. Очевидно, що такі значення показників є наслідком зміни показників вмісту забруднюючих речовин у вхідних стічних водах, дані аналізу яких, нажаль, відсутні.

Максимальний вміст завислих речовин влітку можна пояснити зменшенням прозорості води внаслідок розвитку водної рослинності або мікрофітів. Про це свідчить і зниження ХПК; при цьому кількість сухого залишку взимку, навесні, влітку та восени майже постійна (більше 350 мг/дм<sup>3</sup>).

Незначне зниження вмісту фосфатів у весняно-літній період, що дозволило дотримати норми ГДС по фосфатам, пов'язано із споживанням біоценозом фосфору як біогенного елементу. Стічні води металургійного виробництва, як правило, бідні фосфатами. Ця обставина визначає ефективність процесів самоочищення стічних вод в буферних водоймах.

Вміст нафтопродуктів підвищений навесні і влітку, що можна пояснити сезонною роботою автотранспорту.

Цинк та хром є токсичними елементами і дуже небезпечні для біоти. Вміст Zn(II) перевищував ГДС у всі сезони 2012 року. Вміст хрому (VI) дорівнював ГДС навесні та влітку, але перевищував його восени та в зимовий період.

Вміст заліза загального перевищує ГДС у кожному сезоні. Це пов'язано із специфікою виробництва і є дуже небезпечним явищем, тому що це призводить до погіршення умов життя гідробіонтів оскільки залізо має токсикологічні властивості.

Вміст АПАР у стічних водах перевищує показники ГДС навесні та восени, влітку дорівнює ГДС. Лише у зимовий період система біологічної очистки на ДМКД ефективно справляється з поверхнево-активними речовинами. Це є дуже небезпечним явищем, тому що ПАР утворюють на поверхні водойм піну, яка зменшує проникнення світла, зниження вмісту кисню у приповерхневому шарі води, а це призводить до погіршення умов життя гідробіонтів у біоставку. Тому поява піни у ставку є неприпустимою.

Таким чином, найгірша робота біоставка спостерігалася в осінній період 2012 року.

Нами був проведений якісний аналіз скиду із біоставка у р. Дніпро щомісяця за 2012 рік за наведеними показниками (табл. 3, 4). Необхідно звернути увагу на те, що максимальні значення вмісту забруднювачів дуже часто перевищують ГДС практично за усіма показниками. У таблиці такі перевищення виділені червоним кольором. При цьому ситуація відносно середніх значень вмісту забруднювачів виглядає більш заспокійливою. Тобто усереднення значень призводить до розмивання загальної картини.

## Склад стічних вод ПАТ «ДМКД» (січень 2012 р.)

№ п/п	Концентрація забруднюючих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	Скид із біоставка у р. Дніпро			ГДС (випуск №3 у біо-ставок)
		Мін.	Макс.	Сер.	
<b>Січень 2012 р.</b>					
1.	Розч. кисень	9,24	9,56	9,42	
2.	БПК <sub>5</sub>	2,10	2,40	2,27	2,34
3.	ХПК	23,17	26,27	25,23	25,65
4.	Завислі речовини	5,55	8,98	7,03	7,10
5.	Сухий залишок	323,0	371,8	351,1	365,5
6.	Хлориди	30,72	36,16	34,30	35,28
7.	Сульфати	32,73	35,06	33,97	34,06
8.	Азот амонійний	0,274	0,529	0,395	0,395
9.	Нітрити	0,174	0,225	0,200	0,2
10.	Нітрати	6,01	7,11	6,58	6,2
11.	Фосфати	0,394	0,503	0,427	0,40
12.	Залізо заг.	0,252	0,441	0,326	0,30
13.	Нафтопродукти	0,17	0,34	0,28	0,30
14.	Ціаніди	-	-	0,02	0,02
15.	Роданіди	-	-	0,05	0,05
16.	Феноли	-	-	0,001	0,001
17.	АПАР	-	-	0,017	0,20
18.	Цинк (+2)	-	-	0,0049	0,001
19.	Хром (+3)	-	-	0,001	0,01
20.	Хром (+6)	-	-	0,001	0,001
21.	Алюміній (+3)	-	-	-	0,15
22.	Тем-ра, °С	3,0	5,0	4,0	
23.	pH, од. pH	8,18	8,62	8,37	

Активна реакція води після біологічної очистки на скидах ПАТ «ДМКД» має слабо лужну реакцію (pH від 8,28 до 8,38) протягом усього 2012 р.

Основний елемент схеми БХО - біоставок, засаджений ВВР, на виході з якого здійснюється механічна аерація очищеної води. Для поліпшення водообміну у всіх ділянках біоставка запропонований режим експлуатації з рівнем води, що безупинно змінюється у ставку. У ставку передбачено особливий технологічний режим очищення, що забезпечує інтенсифікацію водообміну шляхом

безупинної зміни рівня води. При цьому виникає ряд додаткових вимог до експлуатації ставка і контролю за роботою споруди.

Таблиця 4

Склад стічних вод ПАТ «ДМКД» (липень 2012 р.)

Концентрація забруднюючих речовин, мг/дм <sup>3</sup>	Скид із біоставка у р. Дніпро			ГДС (випуск №3 у біоставок)
	Мін.	Макс.	Сер.	
<b>Липень 2012 р.</b>				
Розч. кисень	6,86	8,30	7,51	
БПК <sub>5</sub>	2,06	2,36	2,22	2,34
ХПК	24,42	27,0	25,82	25,65
Завислі речовини	6,05	8,95	7,20	7,10
Сухий залишок	355,0	373,0	362,25	365,5
Хлориди	31,78	36,93	34,45	35,28
Сульфати	32,67	34,91	33,84	34,06
Азот амонійний	0,225	0,543	0,358	0,395
Нітрити	0,124	0,426	0,206	0,2
Нітрати	4,76	6,24	5,65	6,2
Фосфати	0,193	0,410	0,307	0,40
Залізо заг.	0,211	0,465	0,341	0,30
Нафтопродукти	0,193	0,410	0,307	0,30
Ціаніди	-	-	0,02	0,02
Роданіди	-	-	0,05	0,05
Феноли	-	-	0,001	0,001
АПАР	-	-	0,030	0,20
Цинк (+2)	-	-	0,0087	0,001
Хром (+3)	-	-	0,001	0,01
Хром (+6)	-	-	0,001	0,001
Алюміній (+3)	-	-	-	0,15
Тем-ра, °С	29,0	33,0	31,4	
рН, од. рН	8,19	8,49	8,34	

Необхідною умовою успішного очищення стічних вод в заростях вищих водяних рослин є наявність проточності. При відсутності перемішування води швидкість біохімічних процесів може знизитися в декілька разів. Тому вибрано режим експлуатації з нерівномірним у часі випуском води у біоставок, що забезпечить безупинні коливання рівня води в біоставку, що викликають плин води попеременно від центру ставка до його країв і обернено. На протікання процесів біологічного окислення витрачається розчинений у воді кисень, тому перед скиданням у річку Дніпро очищені стічні води необхідно проводити штучну аерацію.

**Висновки.** У роботі показано, що після споруд біологічної очистки комбінату очищена вода на скиді у р. Дніпро часто містить забруднювачі у кількостях, що перевищують нормативи. З метою підвищення ефективності біологічного очищення промислових стічних вод комбінату були розроблені пристрої для регулювання рівня води у біоставку потужністю 15 тис. м<sup>3</sup>/год. та розраховані їх конструкційні розміри і необхідна кількість (2шт.), що дозволить здійснювати коливання рівня води у ставку кожні 3 доби. Створення оптимальних умов для життєдіяльності мікроорганізмів біоценозу і ВВР дозволить значно покращити показники якості очистки стічних вод.

#### Список літератури

1. Волошин М.Д., Журавльова А.В., Кісільова Ю.С. Превентивні заходи запобігання надзвичайній ситуації на правобережних очисних спорудах м. Дніпродзержинська. // Збірн. наук. праць ДДТУ.-2005.-№11.-С.810-184.
2. Волошин Н.Д., Журавлева А.В. Меры интенсификации биологической очистки сточных вод./ «Экология Центрально- Черноземной области Р.Ф.».- Липецк: 2007, № 2(19).- С. 72-74.
3. Аннотированный отчет «Исследование санитарно-гидробиологического режима буферного пруда ОАО «ДМК» с целью оптимизации технологического процесса доочистки сточных вод»./ М.В. Кавацюк, Ю.А. Коган. – Днепродзержинск: Научная мысль, 1999.– 160 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 28.05.2013*

УДК 622.6-52

© В.И. Сулаев, Л.И. Мещеряков, Н.П. Уланова, В.В. Приходько

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ СЕТЕВОГО УЧЕБНОГО КУРСА «ВЫСШАЯ МАТЕМАТИКА»**

Представлены результаты проектирования и реализации сетевого учебного курса «Высшая математика» в системе Moodle.

Представлені результати проектування і реалізації мережного учбового курсу «Вища математика» в системі Moodle.

Results are presented of planning and realization of network educational course «Higher mathematics» in the system Moodle.

**Введение.** В настоящий период происходит становление информационного общества, в котором изменения, происходящие в различных областях человеческой деятельности, связаны с увеличением потребности в получении и переработке информации. В таком обществе ключевое значение приобретают базовые математические знания.

Формирование личности, которая сможет эффективно трудиться и самореализоваться в новых условиях, предполагает развитие способностей творчески

мыслить, самостоятельно ориентироваться в поступающем потоке информации, анализировать полученную информацию, взвешенно и аргументировано применять ее при решении конкретных задач. Условия рыночной экономики требуют от специалистов постоянного обновления знаний, самосовершенствования, владения современными информационно-коммуникационными технологиями.

Вызванные требованиями времени изменения в организации учебного процесса сместили вектор развития в сторону самостоятельной составляющей получения знаний студентами. Целевая установка на профессиональное образование не только как на некую сумму знаний, а как на процесс получения новых знаний на протяжении всей жизни, требует формирования у студентов потребности в поиске новой информации, развития умений усваивать знания самостоятельно [1]. Первым шагом в реализации этой задачи Днепропетровским ГВУЗ «НГУ» стало создание информационно-образовательной среды, которая включает в себя объединенный единым сценарием комплекс учебных материалов, а также позволяет получать доступ к электронным библиотекам, аудио и видеоматериалам, обеспечивает диалоговый обмен преподавателя со студентами и студентов между собой. Электронный курс «Высшая математика», создаваемый в соответствии с образовательными стандартами высшего образования, является одной из составляющих этого комплекса.

**Этапы формирования курса.** Проведенный на первом этапе создания курса анализ возможностей информационно-образовательной среды Moodle (Modular Object Oriented Digital Learning Environment) позволил сделать выводы о том, что данная среда обеспечивает необходимые условия для разработки и реализации дистанционного курса с использованием современных информационных и педагогических технологий. Инструментальная среда Moodle, установленная на сервере лаборатории дистанционного обучения НГУ, по уровню возможностей не уступает известным коммерческим системам дистанционного обучения. Она имеет открытый исходный код и ориентирована на преподавателей, не имеющих знаний языка программирования.

Средства Moodle позволяют реализовать различные педагогические технологии, обеспечивают многоуровневую модель изучения каждой темы курса [2]. Так, например, гиперссылки в тексте электронного курса на параграф, терминологический словарь, сайты, на дополнительные информационные ресурсы реализуют как линейный, так и разветвленный алгоритм обучения. Они обеспечивают удобство изложения учебного материала, способствуют его систематизации, отражают взаимосвязь различных аспектов излагаемого материала, приближают процесс передачи знаний к непосредственному общению. Использование цветовой палитры концентрирует внимание на узловых вопросах.

При внедрении курсов дистанционного обучения, в том числе и высшей математики, качество усвоения учебного материала в значительной мере обусловлено реальностью его компьютерной визуализации. Аудио и видеoinформационные материалы, сопровождение самостоятельной работы пояснениями, которые содержатся во всплывающей озвученной строке, презентации лекционного материала, реализуемые в дистанционном курсе с помощью Moodle, способствуют углублению и закреплению знаний, развитию интуиции и образ-

ного мышления, необходимых будущему специалисту. Инструментальная среда позволяет строить на основе математических моделей анимационные изображения, пояснять сложные моменты учебного материала. В качестве примера можно привести сопровождение мультимедийными клипами материала, связанного с приложением производных к решению физических задач (для понятий мгновенной скорости, силы тока и т.п.).

Одним из важнейших моментов в подготовке будущих специалистов является участие студентов в электронных семинарах, виртуальных конференциях, работе над групповыми проектами. В среде Moodle это обеспечивается такими сервисами, как форум, wiki, чат.

Дискуссии по определенной тематике, проводимые в режиме реального времени, развивают творческий потенциал студентов, способности к коллективной деятельности. В режиме форума участники имеют возможность обмениваться файлами по e-mail и строить вокруг этих файлов учебное обсуждение. Высказывания участников могут быть скорректированы и оценены преподавателем, функция оценки есть и у студента.

Что касается высшей математики, то можно выделить целый класс задач, решение которых при дистанционном обучении целесообразно организовывать только в режиме on-line. Например, решение нестандартных задач с помощью производных, определенного и несобственного интегралов. Это могут быть также задачи из специальных разделов математики, требующие специфического подхода.

Тестирование является одной из форм оценки качества усвоения материала студентом, а также позволяет определить направления корректировки его индивидуальной траектории обучения. Элемент курса «Тесты» позволяет преподавателю разрабатывать тесты с использованием вопросов различных типов: в закрытой форме (одиночный и множественный выбор), типа да/нет, короткий ответ, числовой, на соответствие, вложенный. Вопросы тестов сохраняются в базе данных и могут повторно использоваться. На прохождение теста может быть дано несколько попыток, возможна установка лимита времени на работу.

Для создания и редактирования наполнения в систему встроен визуальный редактор, который дает возможность преподавателю, не знающему языка разметки HTML, создавать web-страницы, содержащие элементы форматирования, иллюстрации, таблицы. Функциональность системы можно расширить за счет сторонних модулей, таких как DimDim, OpenMeeting, AutoView. Они позволяют организовывать аудио и видеоконференции.

Таким образом, возможность соединения потоков разной модальности делает инструментальную среду Moodle универсальной технологической базой для создания и реализации сетевого курса.

На следующем этапе – этапе проектирования учебного курса, были сформулированы общие требования к курсу, его структуре и содержанию, составлен учебно-тематический план дистанционного обучения, где детально расписаны виды деятельности преподавателя и студента в зависимости от используемых средств коммуникации.

На этапе реализации проходила публикация курса на сайте дистанционного обучения согласно разработанному сценарию обучения.



**Структура курса.** Дистанционный курс «Высшая математика» рассчитан на 19 кредитов ECTS и входит в комплекс методического обеспечения учебных программ направлений подготовки 050103 «Программная инженерия» и 050101 «Компьютерные науки» [3].

Учебный курс может быть использован при организации заочной, вечерней и дневной форм обучения.

Первая часть курса охватывает следующие темы первого семестра «Линейная алгебра», «Аналитическая геометрия», «Введение в математический анализ».

Электронный курс имеет блочную структуру и включает в себя блоки: содержательный, контрольно-мониторинговый и информационно-коммуникационный.

Информационно-коммуникационный блок выполняет две функции: организационную и коммутативную. Он содержит следующие компоненты:

– презентацию курса, которая включает в себя аннотацию курса, цель курса, информацию о тех, для кого предназначен курс, сведения об авторах, формах контроля;

– рабочий план специальности с информацией о дисциплинах, которые предшествуют данному курсу и обеспечиваются данным курсом;

– учебную программу для организации и ведения процесса обучения дисциплине. С ее помощью можно познакомиться с содержанием, методическим построением, последовательностью изучения дисциплины;

– методические указания по работе с курсом, график консультаций, объявления.

Содержательный блок выполняет функцию обучения и представляет собой разбитый на модули учебный материал (рис. 1).

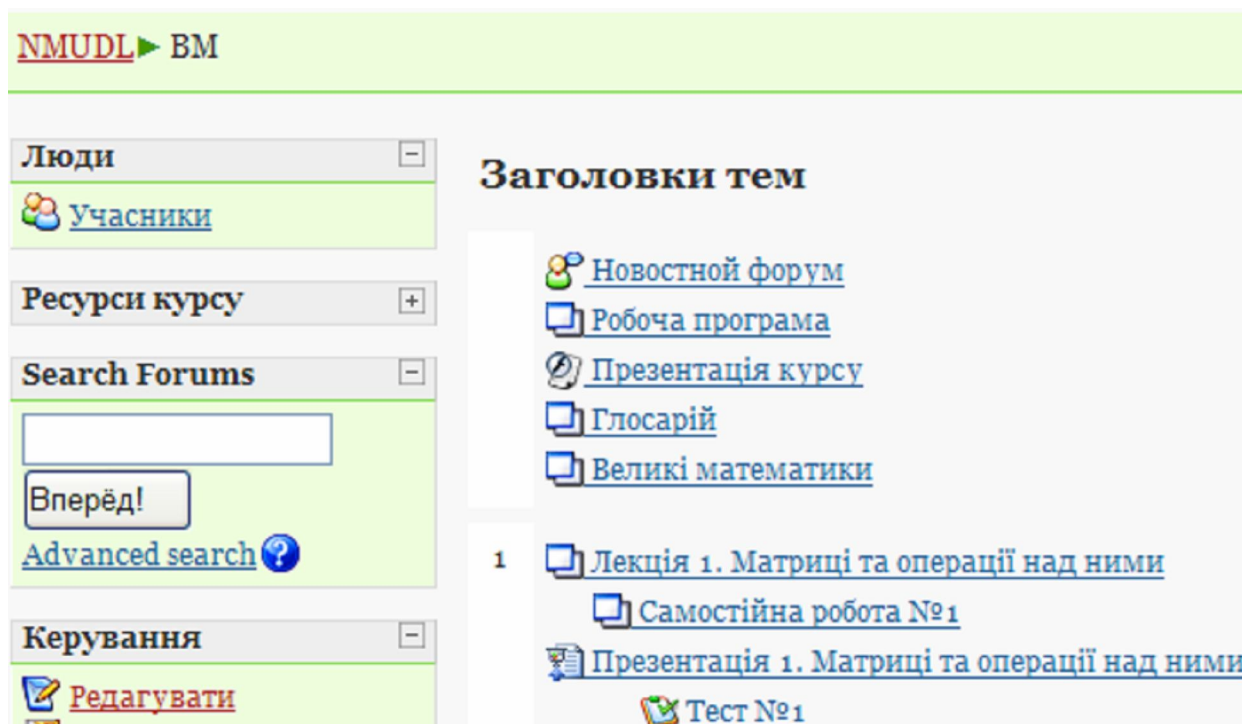


Рис.1. Вид части модуля сетевого курса, созданного на базе платформы Moodle

Следует отметить, что структура обучения студентов кафедры программно-го обеспечения компьютерных систем, разработана таким образом, что общеобразовательные дисциплины, к блоку которых относится и высшая математика, находятся в тесной взаимосвязи и преемственности с базовыми специальными дисциплинами. В связи с этим в курсе математики учитывается содержание и особенности подачи материала, изучаемого на старших курсах, отдельные разделы теоретического курса изложены более глубоко, сформулированы специфические задачи, которые устанавливают связь со специальными дисциплинами.

Теоретическая часть курса начинается с раздела “Великие математики”. В разделе содержатся краткие сведения из истории математики, биографии ученых, в круг интересов которых входили рассматриваемые разделы, их основные достижения в этой области. Дальнейшее изложение теоретического материала снабжено различного рода иллюстрациями. Презентации, сопровождающие отдельные разделы, дают целостное представление о материале курса. В них смысл ключевых понятий представлен графически в виде связанных узловых систем, в центре которых расположен объект изучения. Применение компьютерных презентаций позволило интенсифицировать процесс обучения, сделать его ярким, убедительным.

Удобная организация доступа к теоретическому материалу позволяет в значительной мере учесть разницу в математической подготовке студентов, обеспечить лично ориентированный подход к обучению. Этому способствуют и расположенные в тексте ссылки для быстрого перехода к определенному элементу, терминологическому словарю, контрольным заданиям, дополнительным справочным материалам, необходимым для изучения конкретной темы.

Практическая часть предполагает детальное рассмотрение теоретических положений учебной дисциплины, формирует умения и навыки по конструированию математических моделей, практическому применению полученных знаний. Эту цель преследуют упражнения и задания для самостоятельной работы с многоуровневыми всплывающими подсказками.

Содержательный блок включает также контрольные вопросы, источники и глоссарий. Дополняют курс видеозаписи 8 обзорных лекций по разделам «Линейная алгебра» и «Аналитическая геометрия».


Контрольно-мониторинговый блок выполняет контролирующие, организационные, коммуникативные, рефлексивные и прогнозирующие функции. Ресурсы инструментальной среды Moodle позволяют проводить мониторинг образовательного процесса, оперативно оценивать успешность усвоения излагаемого материала и корректировать учебный процесс. В указанном блоке размещены индивидуальные задания и методические указания к их выполнению с подробным решением типовых задач, пакет тестовых заданий для определения степени усвоения отдельных модулей и всего курса в целом. Пакет состоит из тестовых заданий текущего, модульного и итогового контроля.

Являясь одним из необходимых компонентов системы дистанционного обучения, тестирование дает достаточно объективную оценку уровня подготовки студента. Кроме этого, метод компьютерной диагностики знаний реализует

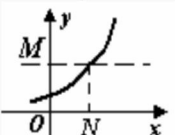
такие основные дидактические принципы контроля, как системность, индивидуальный подход, охват тестовым контролем всего материала.

Тестовые задания курса составлялись согласно требованиям образовательного стандарта. В связи с этим тесты разбивались на простые, проверяющие знания, умения и использование знаний при решении поставленных задач (тесты с единственным и множественными правильными ответами, задания на получение числового ответа), и сложные – задания открытого типа (эссе) на синтез и анализ, позволяющие проверять способности студентов решать творческие задачи (по Б.Блюму).

Среда Moodle дает возможность не только оценивать уровень усвоения материала, но и позволяет получить развернутую информацию о тестировании с указанием полученной и возможной оценки относительно каждого вопроса, а также протокол с описанием допущенных ошибок (рис.2). Благодаря этому можно осуществлять мониторинг учебно-познавательного процесса, изменять содержание курса и совершенствовать стратегию обучения.

1  Якому з випадків а)-г) відповідає графік функції, що зображений на малюнку?

Балів: 0/1



а)  $\lim_{x \rightarrow a} y(x) = M$ ; б)  $\lim_{x \rightarrow \infty} y(x) = M$ ; в)  $\lim_{x \rightarrow \infty} y(x) = \infty$ ; г)  $\lim_{x \rightarrow N} y(x) = \infty$ .

Choose one answer.

б) ~~X~~

а) ~~X~~

в) ✓

г) ~~X~~

[Make comment or override grade](#)

Incorrect

Рис. 2. Протокол тестирования с анализом ошибок

**Результаты апробации курса.** С целью отработки учебно-методического обеспечения курса, проверки дидактических и технических возможностей информационно-образовательной среды Moodle была проведена апробация дистанционного курса «Высшая математика». В ней участвовали студенты первого курса очной формы обучения. Было организовано самостоятельное изучение теоретического материала, сетевое тестирование и самотестирование. Средства образовательной среды позволили преподавателю проводить консультации в режиме удаленного доступа и осуществлять мониторинг учебного процесса.

Результаты эксперимента показали, что информационно-образовательная среда Moodle позволяет организовывать учебный процесс в режиме удаленного доступа на достаточно высоком уровне, а созданный сетевой курс «Высшая ма-

тематика» является удобным инструментом для более детального и качественного обучения дисциплине.

Наряду с этим был отмечен ряд недостатков дидактического обеспечения курса, которые требуют его дальнейшей доработки. К ним можно отнести недостаточное представление материалов по различным уровням сложности, отсутствие тестов входного контроля и тестов для проверки остаточных знаний. Авторами планируется расширение базы тестовых заданий, отражающих специфику будущей профессии, проверяющих уровень творческих способностей студентов. Для создания учебной информации предполагается дальнейшее насыщение теоретического материала мультимедийными вставками.

**Выводы.** Апробация дистанционного курса «Высшая математика» показала положительный эффект в плане систематизации знаний, закрепления полученных навыков. Использование возможностей информационно-образовательной среды Moodle способствовало формированию образного представления ключевых понятий, интенсифицировало процесс обучения.

Авторы считают, что активное использование электронного курса «Высшая математика» позволит в будущем создавать индивидуальные траектории получения знаний студентами, а также будет способствовать формированию у них способностей к самостоятельной работе, повысит качество обучения. Все это создаст предпосылки для успешного усвоения фундаментальных знаний и знаний специальных дисциплин, позволит готовить специалистов, конкурентноспособных на рынке труда.

#### Список литературы

1. Теория и практика дистанционного обучения: Учебное пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений/ Е.С.Полат, М.Ю.Бухаркина, М.В.Моисеева/ Под ред. Е.С.Полат. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 416 с.
2. Скибицкий Э.Г. Построение многоуровневой системы принципов педагогического процесса дистанционного обучения// Инновации в образовании. – 2012. – №12. – С.74 – 83.
3. Рыбалко А.Я., Уланова Н.П., Мещеряков Л.И., Руссу А.Ю. Информационное наполнение дистанционного курса «Основы искусственного интеллекта»// Сб. науч. трудов НГУ. – Днепропетровск, 2007. – №28. – С.178 – 184.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвіжковою О.А.  
Надійшла до редакції 08.05.2013*

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Авраменко Сонія Хабібুলівна** – к.т.н., с.н.с., доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Бакутин Андрей Вадимович** – аспірант Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Бесчастный Александр Викторович** – к.т.н., доцент кафедри Аэрологии и охраны труда ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Білашенко Ольга Геннадіївна** – аспірант, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Бондаренко Андрій Олексійович** – к.т.н., доцент кафедри гірничих машин и інжинірингу ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Бубликов Андрей Викторович** – к.т.н., доцент кафедри автоматизации компьютерных систем Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Виходцев Микола Константинович** – провідний геолог (Правобережна ГЕ ПДРГП “Північгеологія”)

**Гайдай Александр Анатольевич** – к.т.н., доцент кафедри подземной разработки месторождений Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Галата Альона Володимирівна** – к.х.н., доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Ган Анатолій Леонідович** – к.т.н., доцент кафедри геобудівництва та гірничих технологій, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

**Гаркуша Игорь Николаевич** – к.т.н., доцент кафедри геоинформационных систем Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Гнутов Володимир Олексійович** – головний інженер ООО «Восток-Руда», м. Жовті Води

**Доценко Владимир Иванович** – старший преподаватель кафедри подземной разработки месторождений Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Дяченко Ігор Миколаєвич** – геофізик (Правобережна ГЕ ПДРГП “Північ геологія”)

**Жанчив Билэгсайхай** – генеральный директор Урановой энергетической компании «Мон-Атом»

**Зуєвська Наталія Валерьевна** – д.т.н., доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**Ишков Валерий Валериевич** – к.г.-м.н., зав. каф. минералогии и петрографии ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Іванова Ольга Анатоліївна** – студентка кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Кагадій Тетяна Станиславівна** – д. ф.-м.н., професор кафедри вищої математики ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Качанов Александр Викторович** – ассистент кафедры ГИС, ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина

**Кигель Анатолий Геннадиевич** – ассистент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Коваленко Анастасія Анатоліївна** – аспірантка кафедри екології ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Коваленко Ернест Дмитрович** – студент ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Ковров Александр Станіславович** – к.т.н., доцент кафедри екології, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Кондратець Василий Александрович** – к.т.н., профессор кафедры автоматизации производственных процессов Кировоградского национального технического университета, г. Кировоград

**Кондратюк Іван Валентинович** – асистент кафедри вищої математики, ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Корнієнко Ірина Михайлівна** – к.т.н., доцент кафедри промислової біотехнології та загальної хімії ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Корнієнко Петро Кирилович** – начальник партії (Правобережна ГЕ ПДРГП “Північгеологія”), с. Фурси, Білоцерківського р-ну, Київської обл.

**Кривцун Геннадій Павлович** – к.т.н., доцент кафедри аерології та охорони праці ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Максимова Наталья Николаевна** – аспірант кафедри експлуатації гидромелиоративных систем и технологии строительства, Днепропетровский государственный аграрный университет. Украина, г. Днепропетровск

**Марченко Владимир Григорьевич** – ассистент кафедры Аэрологии и охраны труда ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Марченко Вячеслав Владимирович** – ассистент кафедры Аэрологии и охраны труда ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Мацуй Анатолий Николаевич** – к.т.н., доцент кафедры автоматизации производственных процессов Кировоградского национального технического университета, г. Кировоград

**Мещеряков Леонид Иванович** – д.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем ГВУЗ «Національний гірничий університет», г. Дніпропетровськ

**Миронова Інна Геннадієвна** – асистент кафедри екології ГВУЗ «Національний горний університет», г. Днепропетровск

**Наумов Микола Миколайович** – аспірант кафедри аерології та охорони праці ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Непошивайленко Наталія Олександрівна** – к.т.н., доцент кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Небитова Альона Віталіївна** – магістр ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Никулин Сергей Леонидович** – докторант, к.геол. наук, доцент кафедри геоінформаційних систем ГВУЗ «Національний горний університет», г. Днепропетровск

**Остафійчук Нелі Николаєвни** – аспірантка кафедри геотехнологій ім. проф. Бакка Н.Т. Житомирського державного технологічного університета

**Павличенко Артем Володимирович** – к.б.н., доцент кафедри екології ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Поповченко Сергій Євгенович** – провідний науковий співробітник, к.г.-м.н., керівник Центра аналітико-технологічних досліджень (ЦАТД) ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Приходько Вера Владимировна** – к.т.н., доцент кафедри вищої математики Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Рец Юрій Миколайович** – провідний інженер ООО «Центр радіоекологічного моніторингу», м. Жовті Води

**Рожков Константин Вячеславович** – інженер гидротехник, ООО "СОБИ", Багермейстер

**Рудченко Андрей Геннадьевич** – старший преподаватель кафедри екології ГВУЗ «Національний горний університет», г. Днепропетровск

**Русских Владислав Васильевич** – к.т.н., доцент кафедри підземної розробки месторождений Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Сафронов Игорь Леонидович** – к.г.-м.н., доцент кафедри общей геология ГВУЗ «Національний горний університет», г. Днепропетровск

**Сдвижкова Олена Олександрівна** – д.т.н., професор, зав. кафедри вищої математики ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Сорока Юрій Миколайович** – к.т.н, ст. викладач кафедри екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету

**Столбченко Олена Володимирівна** – асистент кафедри аерології та охорони праці ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Сулаев Виктор Иванович** – директор Института заочного образования Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Уланова Наталья Петровна** – к.т.н., доцент кафедры высшей математики Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск

**Хоменко Олег Євгенович** – доцент, докторант ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Ценджав Лхагва** – соискатель, Монгольский государственный университет науки и технологии

**Юрченко Аннета Анатольевна** – канд. тех. наук, доцент кафедры экологии ГВУЗ “Национальный горный университет”, г. Днепропетровск