

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

**Збірник наукових праць  
Національного гірничого університету**

**№ 42**

**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 — № 42 — 179 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 № 11 від 27.11.2013 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., проф.

#### *Збагачення корисних копалин*

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

#### *Екологічна безпека*

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

#### *Підземна розробка РКК*

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

#### *Маркшейдерія*

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

#### *Шахтне і підземне будівництво*

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

#### *Геотехнічна і гірнична механіка*

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

#### *Геологія та геофізика*

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..  
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.  
Заїка 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.  
Слесарєв В.В. – д.т.н., проф.  
Алексєєв М.О. – д.т.н., проф.

#### *Охорона праці*

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

#### *Адреса редакції:*

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

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

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

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

Рекомендуемая структура статьи:

- **вступление** – постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими программами; анализ последних достижений и публикаций в которых заложено решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья (до 40 строк);
- **формулирование целей статьи** (постановка задачи) (до 20 строк);
- **изложение основного материала исследований** с полным обоснованием полученных научных результатов (5-8стр.);
- **выводы** по данному исследованию с указанием новизны, теоретической и практической значимости полученных научных результатов, перспективы дальнейшего развития в данном направлении (до 30 строк);
- **список 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. (067) 636-17-18 **Зберовский Александр Владиславович**

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПОСТОЯННОЙ МАГНИТНОЙ ПОМЕХИ НА ПОКАЗАНИЯ МАГНИТО- ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ СКВАЖИН НА НЕФТЬ И ГАЗ

Предложен способ определения компонент вектора постоянной намагниченности буровых труб, создающих магнитную девиацию в показаниях инклинометра. Способ основывается на измерении сигналов магниточувствительных датчиков инклинометра при повороте всей колонны труб с инклинометром в диапазоне  $0 \div 2\pi$  с последующей математической обработкой полученных результатов.

Запропонован спосіб визначення компонент вектора постійної намагніченості бурових труб, що створюють магнітну девіацію в свідченнях інклінометра. Спосіб ґрунтується на вимірі сигналів магніточутливих датчиків інклінометра при повороті всієї колони труб з інклінометром в діапазоні  $0 \div 2\pi$  з подальшою математичною обробкою отриманих результатів.

The method of determination of component of vector of permanent magnetized of borings pipes, creating magnetic deviaciyu in the testimonies of inclinometer is offered. A method is based on measuring of signals of magnitochuvstvitel'nykh sensors of inclinometer at the turn of all column of pipes with an inclinometer in a range  $0 \div 2\pi$  with subsequent mathematical treatment of the got results.

**Вступление.** В настоящее время большое внимание уделяется наклонно - направленному бурению, что связано с увеличением объемов строительства горизонтальных и наклонных скважин. Кроме того, увеличивается глубина разведочного бурения на нефть и газ. Проводка таких скважин требует повышения точности получения информации о положении бурового инструмента на забое скважины и определения траектории бурения в целом.

**Анализ публикаций.** Известно, что для определения положения бурового инструмента и траектории скважины применяют инклинометрические измерительные устройства в состав которых входят различные первичные преобразователи, такие как гироскопы, акселерометры, феррозонды и др.[1]. Следует отметить, что из-за характерных условий бурения не все они могут выдавать необходимую информацию с достаточной точностью. Например, применение в инклинометрических телесистемах гироскопов, из-за влияния вибрации бурового инструмента на их показания, не дает возможности получать достоверную информацию о траектории бурения скважин при непрерывном процессе бурения. Кроме того, стоимость их достаточно велика. То есть, измерительные телесистемы, разработанные на основе гироскопов являются дорогостоящими и недостаточно точными и их использование может привести к значительным финансовым затратам при бурении скважин.

**Цель работы.** Изучить возможность получения достоверной информации о положении бурового снаряда в пространстве, устранив погрешность показаний гироскопов путем использования вместо них магниточувствительных датчиков. Исследовать влияние на их показания магнитной девиации и скомпенсировать получаемую ошибку выходных значений, которая присуща такого типа датчикам, что значительно повысит точность измерения азимутального угла.

**Изложение основного материала исследования.** Учитывая выше сказанное, ниже в качестве датчика азимута рассмотрено использование магниточувствительных преобразователей. Как известно, магниточувствительные преобразователи менее чувствительны к вибрации [2], однако имеют свойство реагировать на все намагниченные предметы и, следовательно, без дополнительной коррекции их использовать в условиях разведочного бурения нецелесообразно. В связи с этим предлагается использовать алгоритмические методы компенсации и определить коэффициенты магнитной девиации.

Вначале бурения, при вертикальном расположении в скважине снаряженного бурового инструмента, включающего инклинометрическую телесистему, можно определить вектор постоянной магнитной помехи, создаваемой намагниченностью буровых труб. В этом случае скважина и буровая вышка являются своего рода поворотным столом, позволяющим задавать и контролировать углы поворота всей колонны труб. Таким образом, можно вычислить проекции постоянного вектора намагниченности на оси системы координат, связанной с колонной буровых труб в условиях наиболее приближенных к реальной эксплуатации. Это позволит в дальнейшем учитывать намагниченность колонны труб при вычислении магнитного азимута при любых зенитных углах наклона скважины. Учет влияния только лишь постоянной магнитной помехи от намагниченности буровых труб на показания инклинометра, позволяет снизить ошибку в измерении азимута до единицы градуса. Это соответствует требуемой в настоящее время точности в определении азимута скважины в процессе бурения.

Пусть напряженность магнитного поля Земли  $\vec{T}$  в системе координат  $O\xi\eta\zeta$ , связанной с Землей имеет вид:  $\vec{T}(H,O,Z)$ , рис.1. Пусть в системе координат  $OXYZ$ , связанной с буровым инструментом и инклинометром, вектор постоянной магнитной помехи от намагниченности труб имеет проекции  $\vec{T}_1(T_\xi, T_\eta, T_\zeta)$ . Тогда суммарный вектор напряженности  $\vec{T}''$  магнитного поля, измеряемого инклинометром, складывается из:

$$\vec{T}'' = \vec{T} + \vec{T}_1 . \quad (1)$$

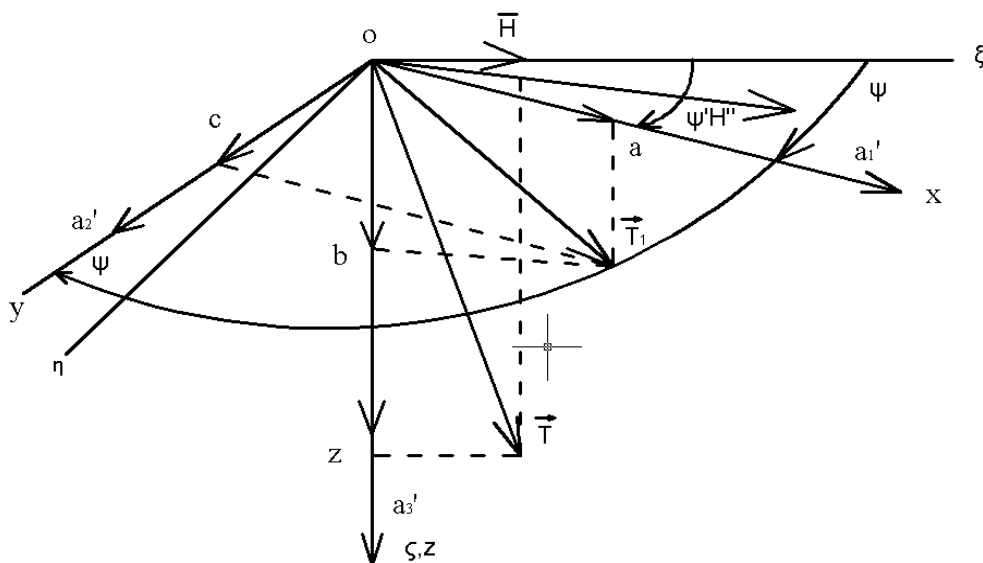


Рис. 1. Положение осей чувствительности магнитометра

На рис.1 обозначено  $\vec{H}$  - горизонтальная составляющая магнитного поля земли,  $\vec{H}'$  - горизонтальная составляющая магнитного поля помехи  $T_1$ ,  $\vec{H}''$  - горизонтальная составляющая суммарного магнитного поля  $\vec{T}''$ .

Если инклинометр не имеет инструментальных ошибок, то магнитометры его  $a_i$  измеряют проекции магнитного поля Земли на оси чувствительности последних в виде:

$$\begin{aligned} a_1 &= H \cos \psi, \\ a_2 &= -H \sin \psi \\ a_3 &= b \end{aligned} \quad (2)$$

Так что при отсутствии магнитной помехи магнитный угол положения отклонителя  $\psi$ , вычисляемый по формуле  $\alpha = \arctg(-\frac{a_2}{a_1})$ , является истинным.

При действии же магнитной помехи  $\vec{T}_1(A, B, C)$  угол положения отклонителя  $\psi' = \arctg(-\frac{a_2'}{a_1'})$  включает ошибки измерения или девиацию, равную  $\delta = \psi - \psi'$ .

Сигналы, снимаемые с магнитометров и инклинометров  $a_i'$ , имеют вид:

$$\begin{aligned} a_1 &= A + H \cos \psi, \\ a_2 &= B - H \sin \psi \\ a_3 &= c + b \end{aligned} \quad (3)$$

Девиация  $\delta$  согласно рис. 1 равна:

$$\cos \delta = \frac{a_1'(a_1' - A) + a_2'(a_2' - B)}{\sqrt{a_1'^2 + a_2'^2}}; \quad (4)$$

Так как истинный магнитный угол положения отклонителя связан с углом, выдаваемым инклинометром  $\psi$  по формуле:

$$\psi = \psi' + (\psi'); \quad (5)$$

то обозначив:

$$\begin{aligned} a_1(\psi) &= a_1'(\psi' + \delta(\psi')) = \check{a}_1(\psi'), \\ a_2(\psi) &= a_2'(\psi' + \delta(\psi')) = \check{a}_2(\psi'), \\ a_3(\psi) &= a_3'(\psi' + \delta(\psi')) = \check{a}_3(\psi') \end{aligned} \quad (6)$$

можно записать в таком виде:

$$\begin{aligned} (\cos \psi' \cos \delta + \sin \psi' \sin \delta) + A &= \check{a}_1(\psi'), \\ -(\sin \psi' \cos \delta + \cos \psi' \sin \delta) + B &= \check{a}_2(\psi'), \\ C + b &= \check{a}_3(\psi'), \end{aligned} \quad (7)$$

$$\cos \delta = \frac{\check{a}_1^2(\psi') + \check{a}_2^2(\psi') - A\check{a}_1(\psi') - B\check{a}_2(\psi')}{\sqrt{\check{a}_1^2(\psi') + \check{a}_2^2(\psi')}}; \quad (8)$$

Величины  $\tilde{a}_1, \tilde{a}_2$  могут быть определены при вращении всей колонны труб в диапазоне 0-360°С через фиксированный угол поворота. При этом  $\tilde{a}_3 \equiv const$  и компонента С постоянного вектора намагниченности определяется из выражения:

$$C = \tilde{a}_3(\psi') - b. \quad (9)$$

Из первых двух уравнений системы следуют искомые выражения девиации:

$$\begin{aligned} \cos \delta &= (\tilde{a}_1(\psi') - A) \cos \psi' + (B - \tilde{a}_2(\psi')) \sin \psi', \\ \sin \delta &= (B - \tilde{a}_2(\psi')) \cos \psi' - (\tilde{a}_1(\psi') - A) \sin \psi'. \end{aligned} \quad (10)$$

Последнее уравнение системы (7) совпадает с первым уравнением (10), так как

$$\cos \psi' = \frac{\tilde{a}_1(\psi')}{\sqrt{\tilde{a}_1^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi')}}, \quad (11)$$

$$\sin \psi' = -\frac{\tilde{a}_2(\psi')}{\sqrt{\tilde{a}_1^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi')}} \quad (12)$$

Таким образом модуль вектора магнитной помехи  $|\vec{T}_1|$

$|\vec{T}_1| = \sqrt{A^2 + B^2 + C^2}$  и девиация  $\delta(\psi')$  определяется из уравнения

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{(B - \tilde{a}_2) \cos \psi' - (\tilde{a}_1 - A) \sin \psi'}{(\tilde{a}_1 - A) \cos \psi' + (B - \tilde{a}_2) \sin \psi'}. \quad (13)$$

Для получения компонент поля  $\vec{T}_1$ , А и В воспользуемся уравнением:

$$\cos^2 \delta + \sin^2 \delta = 1 \quad (14)$$

или

$$\tilde{a}_1(\psi') + \tilde{a}_2(\psi') + A^2 + B^2 - 2A\tilde{a}_1(\psi') - 2B\tilde{a}_2(\psi') = 1 \quad (15)$$

Так как функция  $\tilde{a}_1(\psi'), \tilde{a}_2(\psi')$  - периодические с периодом  $2\pi$ , то их можно разложить в ряд Фурье.

$$\tilde{a}_1(\psi') = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (\alpha_n \cos n\psi' + \beta_n \sin n\psi'), \quad (16)$$

$$\tilde{a}_2(\psi') = \frac{\gamma_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (\gamma_n \cos n\psi' + \delta_n \sin n\psi'), \quad (17)$$

аналогично:

$$\tilde{a}_1^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi') = \frac{\lambda_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (\lambda_n \cos n\psi' + \mu_n \sin n\psi'), \quad (18)$$

где

$$\alpha_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} \tilde{a}_1(\psi') \cos n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (19)$$

$$\beta_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} \tilde{a}_1(\psi') \sin n\psi' d\psi' \quad n=0,1,2,\dots, \quad (20)$$



$$\gamma_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} \tilde{a}_2(\psi') \cos n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (21)$$

$$\delta_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} \tilde{a}_1(\psi') \sin n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (22)$$

$$\lambda_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} [\tilde{a}_2^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi')] \cos n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (23)$$

$$\mu_n = \frac{1}{\pi} \int_{\psi'_0}^{\psi'_0+2\pi} [\tilde{a}_1^2(\psi') + \tilde{a}_2^2(\psi')] \sin n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots, \quad (24)$$

Здесь  $\psi'_0$  - начальный угол отклонителя, при  $\psi'_0 \neq 0$ .

Подставляя ряды в уравнение (15), получим соотношение следующего вида:

$$\begin{aligned} \lambda_0 + A^2 + B^2 - 2A\alpha_0 - 2B\gamma_0 &= 1, \\ \lambda_n - 2A\alpha_n - 2B\gamma_n &= 0, \\ \mu_n - 2A\beta_n - 2B\delta_n &= 0, n=1,2,\dots \end{aligned} \quad (25)$$

Если для некоторого  $n$   $\alpha_n\delta_n - \beta_n\gamma_n \neq 0$ , то из уравнений (37) находим искомые компоненты А, В постоянного магнитного поля  $\bar{T}_1$  помехи:

$$A = \frac{1}{2} \frac{\lambda_n\delta_n - \mu_n\gamma_n}{\alpha_n\delta_n - \beta_n\gamma_n}, \quad (26)$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{\alpha_n\mu_n - \lambda_n\beta_n}{\alpha_n\delta_n - \beta_n\gamma_n}, \quad (27)$$

Таким образом, компоненты постоянного магнитного поля помехи А,В,С вполне определены из выражений, а девиация  $\delta = \delta(\psi')$  тогда вычисляется согласно выражений.

При вертикальном расположении инклинометрической системы в скважине разворачиваем последнюю вокруг продольной оси (ось скважины) на фиксированные углы поворота  $\psi'_0, \psi'_1, \dots, \psi'_m$ , где  $\psi'_0 < \psi'_1 \dots \psi'_m, \psi'_m = \psi'_0 + 2\pi$ , одновременно измеряя посредством магнитометрических датчиков инклинометра эти величины  $\tilde{a}_1(\psi'_i), \tilde{a}_2(\psi'_i)$ , и вычисляя  $\tilde{a}_1(\psi'_i) + \tilde{a}_2(\psi'_i)$ ,  $i=0,1,2,\dots,m$

Интервал измерения  $0 \div 2\pi$  при развороте в скважине инклинометра в составе колонны труб не может быть разделен на одинаковые части «m» из-за моментов сухого трения о стенки. Поэтому, для приближенного вычисления интегралов, согласно полученным выражениям, запишем пользуясь методом трапеции искомое выражение с учетом неравных частей.

$$\alpha_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [\tilde{a}_1(\psi'_{i+1}) \cos n\psi'_{i+1} + \tilde{a}_1(\psi'_i) \cos n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (28)$$

$$\beta_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [\tilde{a}_1(\psi'_{i+1}) \sin n\psi'_{i+1} + \tilde{a}_1(\psi'_i) \sin n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (29)$$

$$\gamma_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [\tilde{a}_2(\psi'_{i+1}) \cos n\psi'_{i+1} + \tilde{a}_2(\psi'_i) \cos n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (30)$$

$$\delta_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [\tilde{a}_2(\psi'_{i+1}) \sin n\psi'_{i+1} + \tilde{a}_2(\psi'_i) \sin n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (31)$$

$$\lambda_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [|\tilde{H}(\psi'_{i+1})|^2 \cos n\psi'_{i+1} + |\tilde{H}(\psi'_i)|^2 \cos n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (32)$$

$$\mu_n = \frac{1}{2\pi} \sum_{i=0}^{m-1} [|\tilde{H}(\psi'_{i+1})|^2 \sin n\psi'_{i+1} + |\tilde{H}(\psi'_i)|^2 \sin n\psi'_i] \Delta\psi'_i, \quad (33)$$

где  $\Delta\psi'_i = \psi'_{i+1} - \psi'_i$ ,  $|\tilde{H}(\psi'_i)|^2 = \tilde{a}_1^2(\psi'_i) + \tilde{a}_2^2(\psi'_i)$ ,  $i=0,1,2,\dots, m-1$

и тогда согласно выражениям (26), (27) находим компоненты вектора  $\vec{T}$ :

$$A = \frac{1}{2} \frac{\lambda_n \delta_n - \mu_n \gamma_n}{\alpha_n \delta_n - \beta_n \gamma_n}, \quad (34)$$

$$B = \frac{1}{2} \frac{\lambda_n \mu_n - \lambda_n \gamma_n}{\alpha_n \delta_n - \beta_n \gamma_n} \quad (35)$$

Пусть известны из эксперимента, полученного при повороте в скважине инклинометра в диапазоне  $0 \div 2\pi$ , сигналы, снимаемые с магнитометров  $\tilde{a}_1(\psi'_i), \tilde{a}_2(\psi'_i)$ ,  $i=1,2,3$ .

Тогда, согласно формуле (33), имеем:

$$A\tilde{a}'_1(\psi'_i) + B\tilde{a}'_2(\psi'_i) = \frac{1}{2} [\tilde{a}_1^2(\psi'_i) + \tilde{a}_2^2(\psi'_i) + A^2 + B^2 - 1], \quad i=1,2,3. \quad (36)$$

Откуда получаем, например систему уравнений следующего вида:

$$A[\tilde{a}'_1(\psi'_2) - \tilde{a}'_1(\psi'_1)] + B[\tilde{a}'_2(\psi'_3) - \tilde{a}'_2(\psi'_1)] = \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_3)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] \quad (37)$$

$$A[\tilde{a}'_1(\psi'_3) - \tilde{a}'_1(\psi'_1)] + B[\tilde{a}'_2(\psi'_3) - \tilde{a}'_2(\psi'_1)] = \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_3)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2]$$

Если определитель системы  $\Delta \neq 0$

$$\Delta = \begin{vmatrix} \tilde{a}'_1(\psi'_2) - \tilde{a}'_1(\psi'_1) & \tilde{a}'_2(\psi'_2) - \tilde{a}'_2(\psi'_1) \\ \tilde{a}'_1(\psi'_3) - \tilde{a}'_1(\psi'_1) & \tilde{a}'_2(\psi'_3) - \tilde{a}'_2(\psi'_1) \end{vmatrix} \neq 0 \quad (38)$$

то полагая

$$\Delta_1 = \begin{vmatrix} \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_2)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] & \tilde{a}'_2(\psi'_2) - \tilde{a}'_2(\psi'_1) \\ \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_3)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] & \tilde{a}'_2(\psi'_3) - \tilde{a}'_2(\psi'_1) \end{vmatrix}, \quad (39)$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} \tilde{a}'_1(\psi'_2) - \tilde{a}'_1(\psi'_1) & \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_2)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] \\ \tilde{a}'_1(\psi'_3) - \tilde{a}'_1(\psi'_1) & \frac{1}{2} [|\tilde{H}'(\psi'_3)|^2 - |\tilde{H}'(\psi'_1)|^2] \end{vmatrix} \quad (40)$$

Найдем искомые компоненты вектора  $\vec{T}$  постоянной магнитной помехи:

$$A = \frac{\Delta_1}{\Delta}; \quad B = \frac{\Delta_2}{\Delta}. \quad (41)$$

### Выводы:

1. Предложен способ определения компонент вектора постоянной намагниченности буровых труб, создающих магнитную девиацию в показаниях инклинометра. Способ основывается на измерении сигналов магниточувстви-

тельных датчиков инклинометра при повороте всей колонны труб с инклинометром в диапазоне  $0 \div 2\pi$  с последующей математической обработкой полученных результатов.

2. Предложены математические зависимости, позволяющие вычислить магнитную девиацию при разных значениях угла установки отклонителя с последующим ее устранением в показаниях инклинометра.

#### Список литературы

1. Аглиуллин Ю.Ф. «Автоматическая система ориентации бурового инструмента» / Аглиуллин Ю.Ф., Нугаев И.Ф. Электроника, автоматика и измерительная техника: межвузовский сборник научных трудов с международным участием. –Уфа: УГАТУ, 2011. - 331 с.
2. Ковшов Г.Н. «Инклинометры» (Основы теории и проектирования). / Ковшов Г.Н. Алимбеков Р. И., Жибер А.В. - УФА: Гилем, 1998. – 380 с.
3. Ковшов Г.Н., «Приборы контроля пространственной ориентации скважин при бурении» / + Ковшов Г.Н., Коловенртнов Г. Ю - УФА 2001 - 228 с.
4. Ковшов Г.Н., М.И. Хакимьянов, А.Ф. Сакаев «Датчик угла наклона на основе интегрального акселерометра: реализация и исследование характеристик».

*Рекомендовано до публікації д.т.н Кожевниковим А.О.  
Надійшла до редакції 21.11.13*

УДК 551.311.231:551.243

© А.Д. Додатко, К.О. Змиевская

## **ОСОБЕННОСТИ ЛИНЕЙНЫХ КОР ВЫВЕТРИВАНИЯ И ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ ВЫСОКИХ ПОРЯДКОВ НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕРГЕЕВСКОЕ СОЛОНЯНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ**

В работе приведены результаты выделения и трассирования линейных кор выветривания и разрывных нарушений высоких порядков по данным наблюдения естественного импульсного электромагнитного поля Земли. Рассмотрены их геологические характеристики на Сергеевском месторождении Солонянского рудного поля.

У роботі приведені результати виділення і трасування лінійних кір вивітрювання і розривних порушень високих порядків за даними спостереження природного імпульсного електромагнітного поля Землі. Розглянуті їх геологічні характеристики на Сергієвському родовищі Солонянського рудного поля.

The results of selection and tracing of linear weathering crust and faults of high orders are in-process resulted from data of supervision of the natural impulsive electromagnetic field of Earth and discusses their geological characteristics are considered on the Sergeevskoe deposit of Solonyanskogo ore field.

**Вступление.** С линейными корами выветриваниями и разрывными нарушениями высоких порядков тесно связано образование ряда полезных ископаемых: золота, платины, касситерита, титаномагнетита, циркона, монацита и драгоценных камней.

Определение «линейная кора выветривания» формулировалось многими учеными: Б.Б. Полюновым, И.И. Гинсбургом, В.П. Петровым, В.Е. Хаиным, А.Ф. Якушовой, К.Н. Паффенгольцем и другими.

Так, по определению В.П. Петрова, линейная кора выветривания развивается по контактам пород разного состава и зонам разломов, в которой наблюдаются изменения, прослеживающиеся на большую глубину и создающие своеобразные "карманы".

Линейные коры выветривания тяготеют к тектоническим разломам, по которым из глубин земли поднимаются горячие растворы, часто обогащенные тяжелыми металлами: свинцом, никелем, кобальтом, цинком, железом и многими другими. При понижении температуры и давления сульфиды тяжелых металлов осаждаются и образуются гидротермальные месторождения. Породы вдоль разломов раздроблены при тектонических сдвигах - под воздействием термальных вод они изменены: первичные минералы, например полевые шпаты, замещаются вторичными - серицитом, гидрослюдами. Все это облегчает и ускоряет их дальнейшее выветривание и образование линейной коры.

По определению Якушовой А.Ф., Хаина В.Е., Гинзбурга А.И., Паффенгольца К.Н., линейные коры выветривания, так же, как и разрывные нарушения, имеют линейное распространение в плане. Линейные коры выветривания развиваются по тектоническим трещинам. Процессы выветривания протекают наиболее интенсивно вследствие более свободного проникновения поверхностных вод. В отдельных случаях от нижней границы площадной коры отходят глубокие узкие линейные коры в виде «карманов» или «языков», их мощность в 3 раза и более превышает мощность площадных кор и достигает местами 150—200 м и более.

**Цель.** Детализация и усовершенствование одного из наиболее важных прогностических признаков – выявление линейных кор выветривания и тектонических нарушений высоких порядков с использованием геолого-геофизических характеристик, контролирующих золоторудные проявления в пределах Солонянского золоторудного поля на фрагменте участка месторождения Сергеевское.

**Изложение основного материала исследований.** Как было установлено ранее, при изучении Солонянского рудного поля и, в частности, месторождения Сергеевское (Бобров А.Б., Дыщук М.Ю., Исаков Л.В., Сукач В.В., и др. [1,6]), золоторудная минерализация тяготеет к тектоническим нарушениям высоких порядков, узлам их пересечения и к линейным корам выветривания.

**Краткая характеристика геологического строения месторождения Сергеевское.** Площадка исследования расположена в пределах золоторудного месторождения Сергеевское Сурской структуры, Солонянского рудного поля.

Сергеевское месторождение расположено в пределах Солонянского рудного поля, в 2,5 км севернее от с. Сергеевка.

В последние годы, поисковые и исследовательские геолого-геофизические работы в пределах Сергеевского месторождения были направлены на решение следующих геолого-геофизических задач [1,6]:

- картирование и оценка золотоносности Солоньянского субвулканического тела, его северного и южного экзоконтактов путем бурения поисково-картировочных скважин;

- оценка перспектив ранее выявленных и новых рудопроявлений золота путем прослеживания их по простиранию и падению наклонными скважинами до 300 м;

- детализацию тектонического строения, литологического расчленения, выделение трещиноватых зон в кристаллических породах, выделение интервалов сульфидной и магнетитовой минерализации, определение зон повышенной радиоактивности;

- изучение морфологии, химического состава самородного золота и отдельных минералов из руд кристаллических пород, их коры выветривания и осадочного чехла;

- установление структурно-минералогических особенностей локализации самородного золота в рудах;

- изучение вещественного состава и технологических свойств руд;

- комплексная оценка полезных сопутствующих компонентов (медь, серебро и др.).

Однако, все выполненные работы не позволяли выделить и трассировать линейные коры выветривания и разрывные нарушения высоких порядков.

В геологическом строении месторождения принимают участие метабазаальты и метадолериты аполлоновской толщи и метадациты сурского комплекса, слагающие Сергеевское субвулканическое тело.

Западной границей месторождения является Южно-Петровский разлом северо-западного простирания. Субмеридиональные разломы – Центральный и Восточный, контролируют развитие габброидов сергеевского комплекса. Северо-Сергеевский разлом субширотного простирания является наиболее поздним, контролирующим внедрение Сергеевского субвулканического тела. К узлам пересечения Северо-Сергеевского разлома с Центральным и Восточным разломами приурочены соответственно золотое и молибденовое оруденение.

На поверхности кристаллических пород развита площадная кора выветривания, мощностью 20–60 м. Кора выветривания перекрыта осадочными отложениями палеогенового и четвертичного возрастов (суглинки, глины, пески), мощностью 40–70 м [1,6].

С целью выделения на дневной поверхности линейных кор выветривания и тектонических нарушений, на центральной части Сергеевского месторождения, между буровыми профилями № 16, 16а, 17, 17а, 18, были выполнены наблюдения ЕИЭМПЗ.

При проведении съемки, вынесение опорных скважин и профилей наблюдений на дневную поверхность участка выполнялось с помощью тахеометра Topcon GTS 235 и GPS – навигатора Garmin GPSMAP 78s.

Аппаратура, используемая для наблюдений ЕИЭМПЗ: прибор типа РВИНДС (радиоволновой индикатор напряженно-деформированного состояния).

Площадка исследования представляет собой неправильный четырехугольник со сторонами: 240×500×240×493 м.

Технология проведения съемки приведена и описана ранее [2].

Достоверность полученных результатов. С целью снижения влияния техногенных помех и контроля воспроизводимости результатов, на каждой точке выполнено по 10 замеров и произведены повторные наблюдения в объеме 20% от общего числа физических точек, что составляет 86 точек.

По результатам наблюдения, была построена карта плотности потока ЕИЭМПЗ (рис.1), в условных единицах (у.е.).

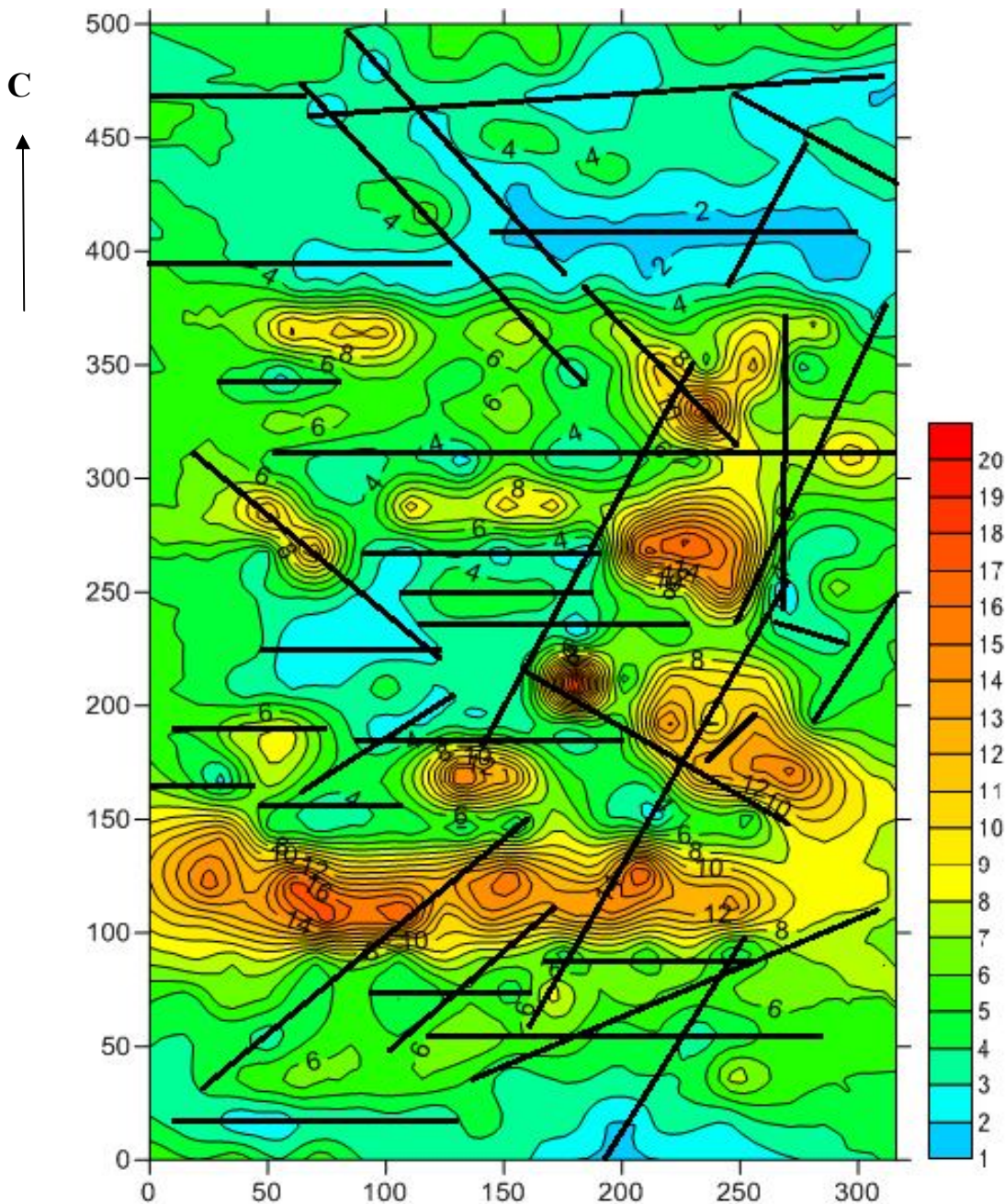




Рис. 1. Карта плотности потока наблюдаемого ЕИЭМПЗ участка Сергеевского месторождения М 1: 1000

Условные обозначения:

-  Оси выявленных кор выветриваний и тектонических нарушений высоких порядков
-  Изолинии плотности потока ЕИЭМПЗ, у.е.

Плотность потока на участке месторождения Сергеевское (рис.1), изменяется от 1 до 20 у.е. При рассмотрении полученной карты плотности потока обращает на себя внимание субширотная направленность выделенных структур поля. Это может найти объяснение в том, что в целом, Сергеевское месторождение находится в зоне влияния субширотного разлома.

Весь участок съемки может быть условно поделен на три части: северную, центральную и южную.

Северная территория участка (от 500 до 350 м) характеризуется достаточно низкими значениями поля от 1 до 6 у. е. и однородностью рисунка поля, в которой прослеживаются субширотные, четко оконтуренные структуры. Повышенные значения плотности потока наблюдаются в интервалах 350–100 м и колеблются от 7 до 20 у. е. Данную зону можно выделить, как центральную часть участка, которая наиболее дифференцирована и характеризуется, как наиболее крупная, неоднородная зона повышенных значений, имеющая сложно дифференцированную картину поля.

Южная часть участка расположена в интервалах от 100 до 0 м и характеризуется, как зона более однородных значений поля от 1 до 7 у.е. с субширотными, реже диагональными структурами.

Для всего участка исследований наиболее характерной особенностью в рисунке поля является линейность выделенных структур, оси которых приведены на рис. 1.

В пределах участка можно трассировать, согласно критериям К.Ф. Тяпкина [3], аномальные зоны со следующими азимутами простирания:  $0^{\circ}$ ,  $10-12^{\circ}$ ,  $35^{\circ}$ ,  $40-45^{\circ}$ ,  $50^{\circ}$ ,  $60-62^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $290^{\circ}$ ,  $305^{\circ}$ ,  $310^{\circ}$ .

Для проверки достоверности выделенных линейных структур, нами были дополнительно рассмотрены результаты геофизических исследований по данным Малиновского А.К. [4], и материалам тектонической карты Украины

М 1: 100 000 [5].

Была составлена сводная таблица азимутов простирания основных тектонических структур, выделенных по материалам различных геолого-геофизических исследований (табл. 1).

Как следует из табл. 1, азимуты простирания большинства тектонических структур, выделенных по материалам различных геолого-геофизических методов по данным Среднеприднепровского мегаблока и исследованиям Солонянского рудного поля, совпадают.

Далее, по данным полевых журналов, было рассмотрено строение выделенных аномальных зон.

Анализ проводился в наиболее информативном интервале глубин 100-250 м.

Выбранные и описанные в полевых журналах 44 скважины, были поделены на две группы.

В первую группу входили скважины, расположенные на площадке Сергеевского месторождения с уровнем наблюдаемого поля от 1 до 8 у.е., во вторую группу от 9 до 20 у.е. Радиус влияния скважины при М 1:1000 составляет 1м.

Таблица 1

Азимуты простирания основных тектонических структур, выделенных по данным геофизических исследований [4], результатам съемки ЕИЭМПЗ и фрагмента тектонической карты Украины, СПМБ [5]

Азимуты простирания, выделенные по тектонической карте Украины, СПМБ, (Гурский, 2004)	Азимуты простирания, выделенные на карте остаточных аномалий, $\rho_{к\text{ост.}}(AB/2)=250\text{ м}$	Азимуты простирания, выделенные на карте остаточных аномалий, $\Delta g_{\text{ост.}}$	Азимуты простирания, выделенные на карте изоом, $\rho_{к\text{ (AB/2)}}=250\text{ м}$	Азимуты простирания, выделенные на карте $\Delta T_{\alpha}$	Азимуты простирания, выделенные по результатам съемки ЕИЭМПЗ на участке Сергеевского месторождения
-	$0^{\circ}$	$0^{\circ}$	$0^{\circ}$	$0^{\circ}$	$0^{\circ}$
$10-12^{\circ}$	$12^{\circ}$	$12^{\circ}$	-	$10-12^{\circ}$	$10-12^{\circ}$
-	$17^{\circ}$	$17^{\circ}$	$17^{\circ}$	-	-
$30^{\circ}$	$35^{\circ}$	-	$35^{\circ}$	$30-35^{\circ}$	$35^{\circ}$
$40^{\circ}-45^{\circ}$	-	-	$45^{\circ}$	-	$40^{\circ}-45^{\circ}$
$50^{\circ}$	-	-	-	-	$50^{\circ}$
-	-	-	-	$60-62^{\circ}$	$60^{\circ}-62^{\circ}$
-	-	-	$77^{\circ}$	-	-
$85^{\circ}-95^{\circ}$	$90^{\circ}$	$90^{\circ}$	$90^{\circ}$	$90^{\circ}$	$90^{\circ}$
-	-	-	-	$275^{\circ}$	-
$290^{\circ}$	-	-	$287^{\circ}-290^{\circ}$	$287-290^{\circ}$	$290^{\circ}$
$300^{\circ}-305^{\circ}$	$305^{\circ}$	-	-	$300-305^{\circ}$	$305^{\circ}$
-	-	$310^{\circ}$	-	-	$310^{\circ}$
-	-	$315^{\circ}$	-	$315^{\circ}$	$315^{\circ}$
$315^{\circ}-325^{\circ}$	-	-	$325^{\circ}$	-	$320^{\circ}$
$330^{\circ}$	$332^{\circ}$	$332^{\circ}$	$332^{\circ}$	-	$332^{\circ}$
-	-	-	-	$327^{\circ}$	-
-	-	-	$335^{\circ}$	-	-
-	-	$340^{\circ}$	-	-	-
-	$347^{\circ}$	$347^{\circ}$	$347^{\circ}$	-	-
-	-	$355^{\circ}$	-	-	-

Учитывая, что все скважины с глубиной свыше 100–250 м, имеют искривление, то мы можем говорить о кумулятивном эффекте наблюдаемого поля от комплекса пород, поэтому, рассчитывалась доля скважин, которые характеризуются линейно вытянутыми структурами, со значением поля от 1 до 8 у.е., что составляет 93,2 % и только 6,8 % скважин характеризуются высоким уровнем наблюдаемого поля от 9 до 20 у.е.

Линейные коры выветривания и тектонические нарушения высоких порядков, согласно геологической документации [1], представлены:

- гидротермально-метасоматической минерализацией: окварцеванием, хлоритизацией, эпидотизацией, пиритизацией, карбонатизацией скважины, соответственно – 42,4 % от количества скважин, попавших в зону линейных кор выветривания;



- дайками, зонами экзоконтактов кислых субвулканических тел и метадацитов скважины, соответственно – 17 %;

- наличием участков повышенной трещиноватости, рассланцевания, будинажа, катаклазированием, милонитизацией, их доля, соответственно составила: 33,8 %.

Соответственно, 6,8 % из общего числа скважин фрагмента участка Сергеевского месторождения характеризуются уровнем поля от 9 до 20 у.е. и попадают в участки породного массива, представленных кварцевыми и кварц-карбонатными жилами и прожилками, которые являются породами с более высокой плотностью, чем метадациты и метабазалты, что объясняет повышенный уровень наблюдаемого ЕИЭМПЗ.

#### **Выводы.**

1. По результатам съемки ЕИЭМПЗ, на участке Сергеевского месторождения выделены линейные структуры, которые представлены линейными корами выветривания и тектоническими нарушениями высоких порядков. При этом линейные коры выветривания составляют 59,4 %, а тектонические нарушения – 33,8 %.
2. Азимуты простирания выделенных линейных кор выветривания и тектонических нарушений высоких порядков участка Сергеевского месторождения составляют: 0°, 10-12°, 35°, 40-45°, 50°, 60-62°, 90°, 290° 305-310°, 315-320°, 332°.
3. Выделенные линейные коры выветривания и тектонические нарушения высоких порядков в пределах участка Сергеевского месторождения, согласно данным геологической документации представлены: гидротермально-метасоматической минерализацией: окварцеванием, хлоритизацией, эпидотизацией, пиритизацией и карбонатизацией, зонами рассланцевания, катаклазирования, будинажа и милонитизацией, зонами повышенной трещиноватости.

#### Список литературы

1. Дышук М.Ю., Коваль О.М., Лебідь М.І., Маляров Е.П. Геологічна будова Сергіївського родовища золота // Мінер. ресурси України. – 1995. - №3-4. – С. 4-7.
2. Додатко А.Д. Детализация тектонических особенностей участка Сергеевского месторождения с использованием метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли / А.Д. Додатко, К.О. Змиевская, Н.А. Козарь// Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2013. - №1. – С. 5 -10.
3. Тяпкин К.Ф. Изучение тектоники докембрия геолого-геофизическими методами. – М.: Недра, 1972. – 258 с.
4. Малиновский А.К. Прогноз золоторудной минерализации в Верховцевской и Сурской золоторудных структурах / А.К. Малиновский, Б.З. Берзенин// Науковий вісник НГАУ – Дніпропетровськ, 2001. – №5. – С. 57–58.
5. Гурский Д.С., Круглов С.С. Тектонічна карта України М 1:1 000 000С. - К.: Державна геологічна служба, 2004.
6. Сукач В.В. Типізація золоторудних об'єктів Солонянського рудного поля / В.В. Сукач, Л.В. Ісаков, М.Т. Цима // Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ, 2005. - № 9. – С. 10-15. – Библиогр.: С. 104.

*Рекомендовано до публікації д.г.н. Барановим П.М.  
Надійшла до редакції 08.10.13*

## DEFINITE OECULIARITIES OF TOXIC AND POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS DISTRIBUTION IN COAL SEAMS OF PAVLOGRAD- PETROPVLOVKA REGION

Викладені методики та результати визначення складу геохімічних та парагенетичних асоціацій токсичних елементів в основних робочих пластах Павлоград-Петропавлівського району Західного Донбасу, факторного та кластерного аналізу їх вмістів.

Изложены методики и результаты определения состава геохимических и парагенетических ассоциаций токсичных элементов в основных рабочих угольных пластах Павлоград-Петропавловского района Западного Донбасса, факторного и кластерного анализа их содержания.

Procedures and results to determine composition of toxic element geochemical and paragenetic assemblages within mother working coal seams of Pavlograd-Petropavlovka district in Western Donbass as well as their factor and cluster analysis are represented.

Strengthening of requirements for environmental protection gives rise to innovative new scientifically grounded forecasting techniques concerning toxic elements in rock mass and waste rock and coal.

To assess effect of coal-mining industry and energy enterprises on ecological situation while planning measures aimed at its improvement, it is required to have information on distribution nature and level of toxic element concentration in coal and enclosing rocks extracted. To obtain such information, SHEI "National Mining University" performed detailed study involving the most promising region in Western Donbass – Pavlograd-Petropavlovka geological and industrial region. Classification of coal seams according to toxic elements content; connection between them and "small" elements; indication of the elements connection with organic and mineral part of coal; composition of their geochemical and paragenetic assemblages were basic problems while studying geochemistry toxic elements in mother working coal seams.

To solve the problems, there were used results of spectrum analysis of 76 coal combined samples from drill-hole and mine workings of current mines. Comparison of toxic elements content with clark values and MAC was performed with the help of  $C_K$  and  $C_T$  coefficients calculated by:

$$C_K = \text{TEC} / \text{CTE},$$

where  $C_K$  is aspect ratio to clark content, TEC is toxic element content, and CTE is clark content of toxic element;

$$C_T = \text{CTE} / \text{MAC},$$

where  $C_T$  is aspect ratio to MAC (maximum admissible concentration of the element in coal).

While assessing connection of toxic elements with organic or mineral part of coal, coefficient of consanguinity with organic matter  $F_o$  was used; it demonstrates ratio of element content in coal having small density ( $< 1.6$ ) and big density ( $> 1.7$ ); coefficients of reduced concentration  $F_{\text{нк}}$  demonstrating ratio of element content in  $i(C_i)$  fracture to their content in initial coal; correlation coefficients of considered elements and coal ash-content; and coefficients of reduced element extraction in dif-

ferent density fraction. Analysis of the results makes it possible to determine following series of considered elements consanguinity with organic part of coal:

Be, Co, Cr, Pb, F, As, V, Ni, Hg, Mn

Classification of geochemical assemblages for toxic and potentially toxic elements was performed on the basis of calculations and analysis of linear- and gamma-correlation coefficients, and Spearman-Kendal correlation. The assemblage covered elements between which more than 50 % of correlation coefficients were no less than 0.5. Such an approach considers geochemical assemblage as a set of elements united either by general or competitive process or concentration types.

As assemblage involves Cr and V with positive correlation, and Be with negative one. "Small" elements are represented by Mo, Cu, Ag and Ti with positive correlation, and Bi and Ce with negative one.

Be has negative correlation with As, Cr and Hg; as for the "small" elements, Bi and Ce have positive correlation, and Cu and Mo have negative one.

**Hg assemblage is Be with negative correlation, and "small" Sr and La elements with positive correlation, and Ce with negative one.**

As and Mn are assemblage with F; they are characterized with it by positive correlation; as for the "small" elements, there is Nb with positive correlation as well as Sn and Sr with negative one.

Co, Ni and F with positive correlation are in Mn assemblage. Such "small" elements as Sc, Y, Mo and Yb having positive correlation are in the assemblage.

Co Pb can not associate any toxic elements; only Nb of "small" ones has positive correlation.

**Ni assemblage consists only of positive correlation with potentially toxic Co and Mn, and of such "small" elements as Sc, Ti and Yb.**

As and Cr have positive correlation with V as well as such "small" elements as Mo, Ti, Cu, Y, Ag, and Zn; Bi has negative correlation.

Cr assemblage consists of As and V with positive correlation, and Be with negative one. "Small" elements are represented by Cu and Mo with positive correlation and Bi with negative one.

Ni and Mn are positively connected with Co; "small" elements are represented by Ba and Ti.

The authors suppose that determination of toxic element paragenetic assemblages is another important problem. Factorial analysis was applied; its approach and results are described below. It should be noted that factorial analysis results used to determine composition of chemical element paragenetic assemblage means a set of elements having either common or competitive aggregation reason.

First, factorial analysis makes it possible to obtain minimum of new variables being linear aggregate of initial ones; moreover, the variables will cover prescribed amount of information from initial variables. Second, analysis of interrelations between new variables and initial ones enables to identify consanguinities interpreting them in geological view.

The paper applies one of the types of factorial analysis – R-variant of method of principal components in determinant alternative when object selection is studied and no conclusions are drawn concerning general totality objects.

In this case, according to [1], following solution algorithm is assigned.

Matrix of initial variables  $X^{N \times p}$  (where N is the number of rows (coal seams are objects); p is the number of columns of initial variables being toxic and potentially toxic elements) was carried out to  $Y^{N \times p}$  matrix data in the form of variations. Previously, matrix  $X^{N \times p}$  columns were standardized to reduce initial variables to [0 – 1] interval and transition to nondimensional values. The procedure is essential as variables describing objects can be measured variously; in this case factorial analysis is incorrect.

Covariance matrix  $S^{p \times p}$  was determined as dispersions of variables are within its diagonal.

There were calculated proper numbers  $\lambda_i$  of  $S^{p \times p}$  matrix as well as proper vectors  $U_i$  corresponding to proper numbers.

There was also determined k number of principal components (required number of components specifying basic share of initial variables dispersion). To do that value P of the following expression was used:

$$P = \left( \sum_{i=1}^k \lambda_i / trS \right) * 100\%,$$

where  $trS$  is a track of  $S^{p \times p}$  matrix (total of elements within principal diagonal).

Point out that it is convenient to calculate per cent of contribution to P dispersion for successive values  $k=1, 2, 3 \dots$  ceasing the process for such a k when the per cent meet the researcher demands (e.g., if P is more than 75, 90 or 95%).

k of minimal proper numbers  $\lambda_i$  were shown in the form of  $\lambda_i^{k \times k}$  matrix which diagonal elements were proper numbers of covariance matrix  $S^{p \times p}$ . Proper vectors, corresponding to k of minimal proper numbers were represented in the form of  $U_k$  matrix (in our situation, it is load matrix  $A=U_k$ ).

$F^{n \times k}$  matrix of basic component values was determined (Table 1):

$$F=Y*A.$$

Table 1

Values of basic components interpreting no less than 95% of dispersion of toxic and potentially toxic elements within basic working seams of Western Donbass

Seams	1	2	3	4	5
$c_{11}$	-0.266	0.264	0.483	0.018	-0.016
$c_{10}^B$	-0.428	0.105	0.114	0.024	-0.435
$c_9$	0.768	-0.19	-0.45	0.247	-0.203
$c_8^B$	0.506	0.281	-0.031	-0.482	-0.295
$c_8^H$	-0.489	-0.207	-0.123	0.082	0.215
$c_7^B$	0.695	-1.301	0.485	0.006	0.049
$c_7^H$	-0.646	-0.166	-0.054	0.256	0.282
$c_6^I$	0.897	0.487	0.408	0.439	0.188
$c_6$	0.472	0.794	0.582	-0.272	0.26
$c_5$	-0.689	0.016	0.098	0.257	-0.173
$c_4$	-0.364	-0.254	-0.55	-0.807	0.158
$c_1$	-0.454	0.171	-0.144	0.202	0.03

$C^{p*k}$  matrix of correlation coefficients between initial variables and basic components was determined (Table 2). The matrix helps to draw conclusions on degree of connection between new variables with initial ones, i.e. basic components were interpreted.

Alternately: 
$$F \cong X * U_k * \lambda_k^{-1/2}.$$

Data in Table 1 explain that distribution of toxic and potentially toxic elements within coal seams can be very accurately described with the help of 5 new variables characterizing different reasons of their concentration (no less than 95% of initial data dispersion. Analysis of Pavlograd-Petropavlovka mining and industrial district geology and history as well as correlation with estimated values of basic components makes it possible to formulate following conclusions:

1. Values of each basic component are characterized by repeatability in a structure section; the repeatability reflects general periodicity of coal-bearing rock mass formation conditions.
2. Maximums of component 1 correspond to central part of coal formation area; their minimums correspond to beginning.
3. Maximums of component 2 correspond to maximum dispersion of coal accumulation mode as well as maximum of coal sulfur-content.
4. Maximums of component 3 register periods of basal complex maximum tectonism and fracture formation.
5. Maximums of component 4 reflect maximum stability of coal accumulation and stability of coal seam formation.
6. Maximums of component 5 correspond to the most favourable regional coal accumulation environment.

Table 2

Correlation values between toxic elements content and basic components

Elements	1	2	3	4	5
As	0.88	-0.02	-0.09	0.06	-0.12
Hg	0.27	0.34	0.71	-0.34	-0.03
Be	-0.71	-0.31	-0.26	0.03	-0.34
F	0.54	-0.53	-0.21	-0.49	-0.24
Mn	0.34	-0.64	0.51	0.0004	-0.11
Pb	-0.18	-0.68	-0.08	-0.4	0.39
Ni	-0.31	-0.68	0.33	0.37	-0.02
V	0.71	0.36	-0.15	0.32	0.2
Cr	0.75	0.19	-0.14	0.35	-0.03
Co	-0.05	-0.67	0.41	0.35	-0.14

Data in Table 2 explain polygenic and dispersive nature of toxic and potentially toxic elements accumulation in mother working coal seams of Pavlograd-Petropavlovka district. Analysis of the results helps forming following conclusions:

1. Period and stability of coal accumulation processes reflecting in seam thickness and continuity play important role for F concentrations.
2. Variability of coal accumulation mode and plant remains carbonification results in Pb-Ni-Co-Mn-F paragenetic assemblage formation. Maximums of the elements are typical for coal seams with low ash-content and sulfur content.
3. Tectonic activation of basal complex as well as fracture formation in coal-bearing rock mass results in Hg-Mn geochemical assemblage formation.
4. Coal formation zone shaping is followed by initiation As-Be-Cr-V-F paragenetic assemblage; moreover, accumulation of Be mainly takes place at the initial stage of the area formation, and As, Cr, V and F – at the principal stage.
5. Regional conditions of coal accumulation poorly influence on variability of assemblage composition and content of toxic and potentially toxic elements in coal of Pavlograd-Petropavlovka district. Their maximum influence falls to Be and Pb concentrations.

To classify mother working coal seams of Pavlograd-Petropavlovka district as for toxic and potentially toxic element content, we performed cluster analysis within basic components. Iterated division method of k-mean was applied. Seams were considered as five-dimension points of Euclidean space (depending upon the number of basic components). Following clusterization algorithm was adopted:

1. Authors specify the number of clusters determining their gravity centers;
2. Points are shifted into the nearest cluster;
3. Gravity centers of new clusters are determined;
4. Points 2 and 3 are repeated until stable cluster configuration is identified;
5. New cluster number is preset, and points 2-4 are repeated.

Thus, the procedure was applied for 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, and 10 cluster numbers. Fig. 1 demonstrates the clusterization result in the form of classification dendrogram.

While dividing into two clusters, one of them includes seams with negative values of component 1 and the other includes those with positive ones. Dividing into three clusters cannot vary composition of the first one leading to cluster of C<sub>7</sub><sup>B</sup> seam separating into independent. It is unique as for toxic and potentially toxic element content as maximum average F, Mn, Ni, V, Co content is typical for it as well as almost maximum concentrations of Hg, Pb, and Cr. Four-cluster division results in independent C<sub>4</sub> seam separation from cluster 1. Its distinctive feature is maximum average concentration of Pb, almost maximum content of Be and F, and negative values of four basic components; moreover value of the fourth one is minimum to compare with the whole group of considered seams.

Scientific importance of the determined consanguinity set of toxic and potentially toxic elements with coal organic substance, and their geochemical and paragenetic assemblages is the possibility to make their quantitative estimation from the viewpoint of genetics. Practical importance is in the representation of methodology to forecast toxic and potentially toxic elements in coal seams, rock mass, products and coal processing waste on the basis of component and cluster analysis.

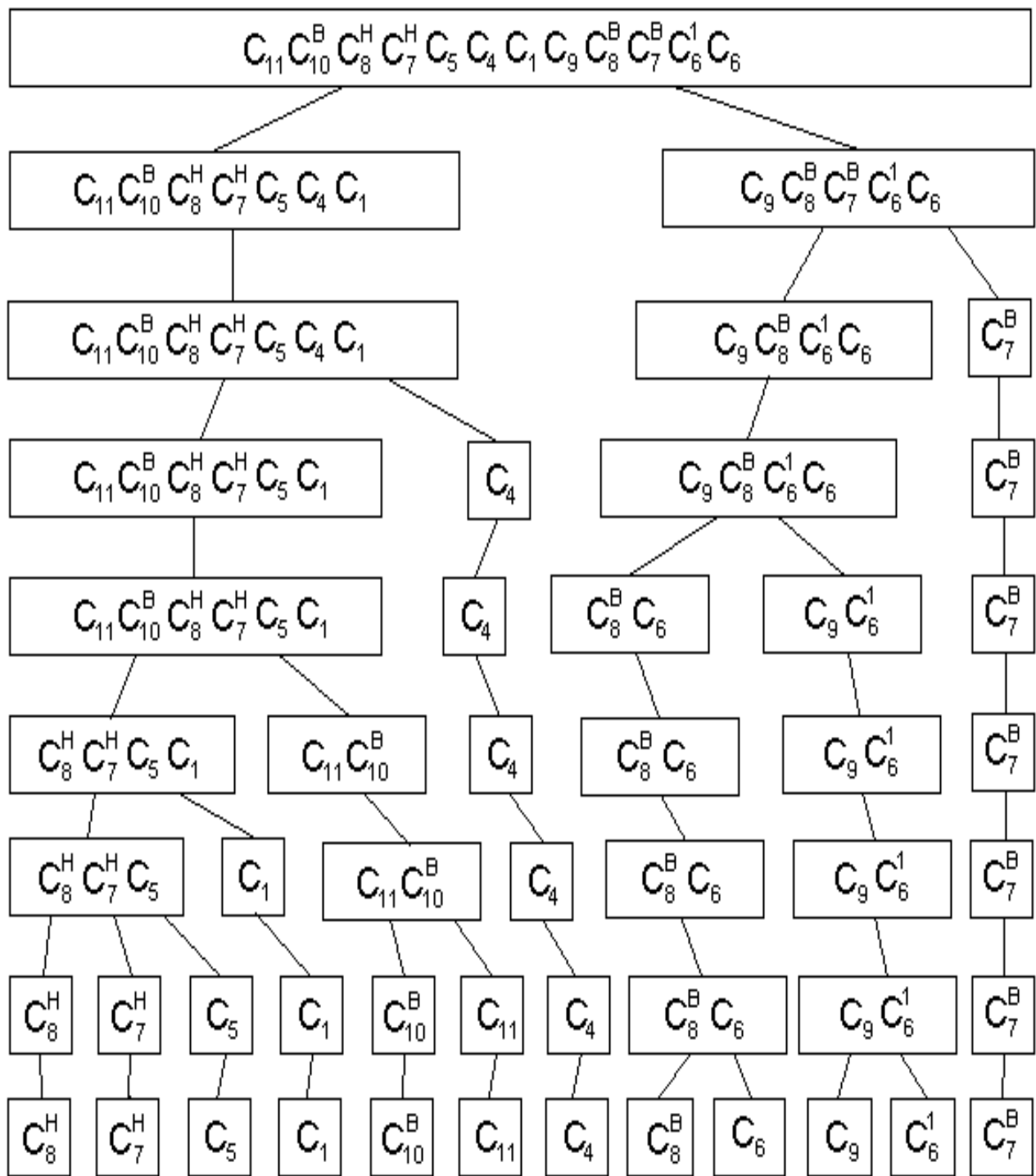


Fig. 1. Classification dendritogram of mother working coal seams of Pavlograd-Petropavlovka district

#### References

1. Йереског К.Г., Клован Д.И., Реймет Р.А. Геологический факторный анализ: Пер. с англ. – Л.: Недра, 1980. – 223 с.

*Рекомендовано до публікації д.г-м.н. Нагорним Ю.М.  
Надійшла до редакції 19.11.13*

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЫ УГОЛЬНОМ ПЛАСТЕ $g_1^2$ УЧАСТКА УСПЕНОВСКИЙ 1-2 ЛОЗОВСКОГО УГЛЕНОСНОГО РАЙОНА

Приведены тенденции развития угольной отрасли Украины. Обобщены материалы по строению, составу и качеству угля пласта  $g_1^2$ . Построены и проанализированы карты сернистости пласта. Выявлены региональные, локальные и стратиграфические зависимости распределения серы в пласте  $g_1^2$ .

Наведено тенденції розвитку вугільної галузі України. Узагальнено матеріали з будови, складу та якості вугілля пласта  $g_1^2$ . Побудовано та проаналізовано карти сірчистості пласта. Виявлено регіональні, локальні та стратиграфічні залежності розподілу сірки в пласті  $g_1^2$ .

Development trends of coal industry in Ukraine are specified. Materials, concerning coal seam  $g_1^2$  structure, composition and grade, are generalized. Maps of the seam sulphur content are compiled and analyzed. Regional, local and stratigraphical dependences of sulphur distribution within  $g_1^2$  seam are shown.

**Вступление.** По международным показателям, Украина не бедное в энергетическом смысле государство: при территории, равной 0,4 % мировой, сырьевые запасы недр Украины составляют 5 % мировых. Однако в настоящее время страна собственными энергоресурсами обеспечивает свои потребности на 47 % и имеет крайне неблагоприятную для себя структуру энергопотребления. В Украине объем потребляемого газа (преимущественно импортного) в 1,7 раза больше, чем объем потребляемого угля (25 %). Доля дорогого природного газа в топливно-энергетическом балансе Украины почти вдвое больше, чем его часть в мировом топливно-энергетическом балансе. Соотношение доли угольного топлива в производстве электроэнергии и доли угля в топливно-энергетическом балансе стало основой для условного разделения стран по уровню их энергетической безопасности. Украина, как и Намибия, Португалия и Испания по этому показателю относится к странам с недостаточным уровнем энергетической безопасности. Поэтому эффективное использование энергоресурсов является приоритетным направлением на современном этапе развития энергетического сектора Украины.

Основное энергетическое сырье в недрах Украины – уголь [1]. Общие ресурсы угля (бурого, каменного и антрацитов) на начало XXI столетия в Украине составили 117,4 млрд. т., из которых более 90% принадлежит к каменным углям, из них около 25% относятся к коксующимся. Прогнозные ресурсы углей Украины составляют 1,4 % от общих и 2,75 % от подтвержденных мировых запасов углей и соответственно 10,2 % и 16,7% от Европейских. Подтвержденные запасы составили 52,6 млрд. т., из которых 16,3 млрд. т. (31 %) – это коксующийся уголь.

**Постановка проблемы.** Внешние и внутренние факторы указывают на то, что в будущем доля угля в энергетическом балансе Украины будет увеличиваться. Эффективность теплоэнергетики страны еще больше будет зависеть,



прежде всего, от квалифицированного использования угля, основанного на всестороннем знании химических и технологических его свойств [2, 7].

Для сжигания в энергетических целях могут быть использованы угли всех марок [1, 6, 7]. Однако сжигание углей марок Ж, К, ОС как топлива нецелесообразно в связи с ограниченностью их ресурсов и возможностью более рационального использования в качестве ценного сырья для коксохимической промышленности. Наиболее пригодны для энергетики малометаморфизованные угли марок Д, ДГ и Г, суммарное доленое участие которых в категории А+В+С<sub>1</sub> запасов Донецкого бассейна составляет 64,9% (Рис 1.1).

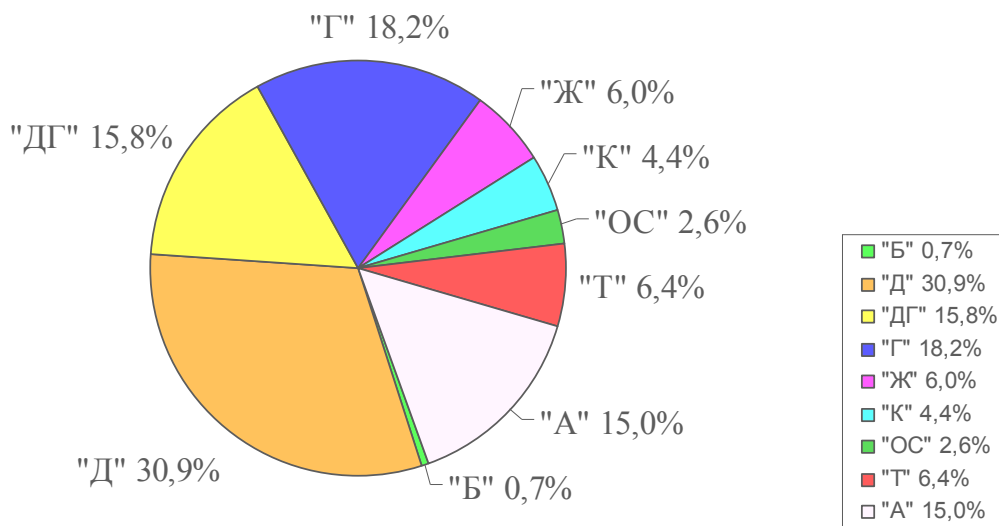


Рис. 1.1. Запасы угля в Донецком бассейне по маркам на 2007 г

Значительная часть запасов углей таких марок сосредоточена в новом перспективном угленосном Лозовском районе Западного Донбасса.

При оценке пригодности углей для энергетических целей, уже на стадии геологоразведочных работ необходимо детально изучить такие их технологические свойства как низшая удельная теплота сгорания рабочего топлива, массовая доля влаги, зольность, массовая доля серы общей.

Среди перечисленных показателей особое место занимает сернистость углей. Сера в угле – вредный компонент. Ее оксиды, образующиеся при сжигании топлива, отравляют окружающую атмосферу, разъедают аппаратуру, понижают теплоту сгорания топлива. Если раньше наиболее жесткие требования по содержанию серы в углях предъявляли в коксохимической промышленности, то в настоящее время большая энергетика также резко повысила эти требования. Поэтому очень важным является знание возможностей обессеривания углей, что невозможно без детального изучения природы серы и закономерностей ее распределения [4, 6].

**Цель работы** – выявить закономерности распределения серы в угольном пласте  $g_1^2$  Лозовского района.

**Основные задачи исследования:** создание базы данных по составу и качеству углей пласта  $g_1^2$ , выявление особенностей сернистости пласта, установление региональных и локальных закономерностей и причин ее изменения.

**Изложение основного материала.** Участок Успеновский 1-2 Лозовского угленосного района – один из наиболее перспективных участков для добычи в Западном Донбассе. Угольный пласт  $g_1^2$  распространен почти по всей территории участка и является основным рабочим пластом. В пласте  $g_1^2$  сосредоточено 64 % балансовых запасов данного участка. Пласт относительно выдержанный, мощность достигает 1,9 – 2м.

Для проведения статистических обработок данных по содержанию серы, выявления площадных и региональных закономерностей изменения этого показателя была применена программа математической обработки геологической информации, позволяющая строить карты, как по отдельным показателям, так и для групп показателей [8]. В качестве основного математического метода был использован тренд-анализ, наиболее часто применяемый в геологии для разделения двух компонентов: систематического и случайного (в нашем случае регионального и локального). В процессе выполнения работ выявлены некоторые факты, которые могут значительно исказить результаты тренд – анализа. Так, вид полиномиальных уравнений сильно зависит от формы площади занимаемой карты. Если данные не распределены приблизительно равномерно, то поверхность тренда вытягивается в направлении расположения контрольных точек. Кроме того, достоверность может снижаться за счет «краевых» эффектов. Для устранения этого недостатка нами были использованы дополнительные данные по сернистости углей района расположенных за пределами изучаемой площади. Это привело к образованию «буферной зоны», в которой сконцентрированы краевые эффекты за пределами рассматриваемого участка. В соответствии с применяемой методикой была спроектирована и создана база геологических данных.

В результате статистической обработки данных было выявлено, что особенностью данного пласта служит относительно невысокая, по сравнению с углями других пластов, его общая сернистость. В соответствии с принятой в Донбассе классификацией углей на группы сернистости пласт относится к средне-сернистым. Для значительной части керновых проб значения содержания серы не превышает 1,5%. Нами была проведена работа по сопоставлению содержания серы в угольных пластах участка с фациальным составом их кровли. Установлено, что наибольшее содержание серы наблюдается в угольных пластах, в кровле которых залегают морские осадки (аргиллиты, алевролиты, известняки). Пласты, перекрытые лагунными отложениями, характеризуются значительно более низкими значениями сернистости.

Массовая доля серы общей по площади распространения угольного пласта  $g_1^2$  участка Успеновский 1-2 колеблется от 0,9 до 4,7 % и в среднем составляет 1,8 % (рис 1.2).

В составе серы общей преобладает сера пиритная (от 33 до 90 % от общей серы), достигая в среднем 63,7 %. Содержание органической серы относительно высокое. При колебаниях в пределах от 11 до 53 %, среднее значение составляет 32,3 % от общей серы. Количество сульфатной серы наименьшее. Они изменяются в пределах от 0 до 17 %, при среднем значении 4 %. Соотношение содержания серы по видам приведено на рисунках 1.3 и 1.4.

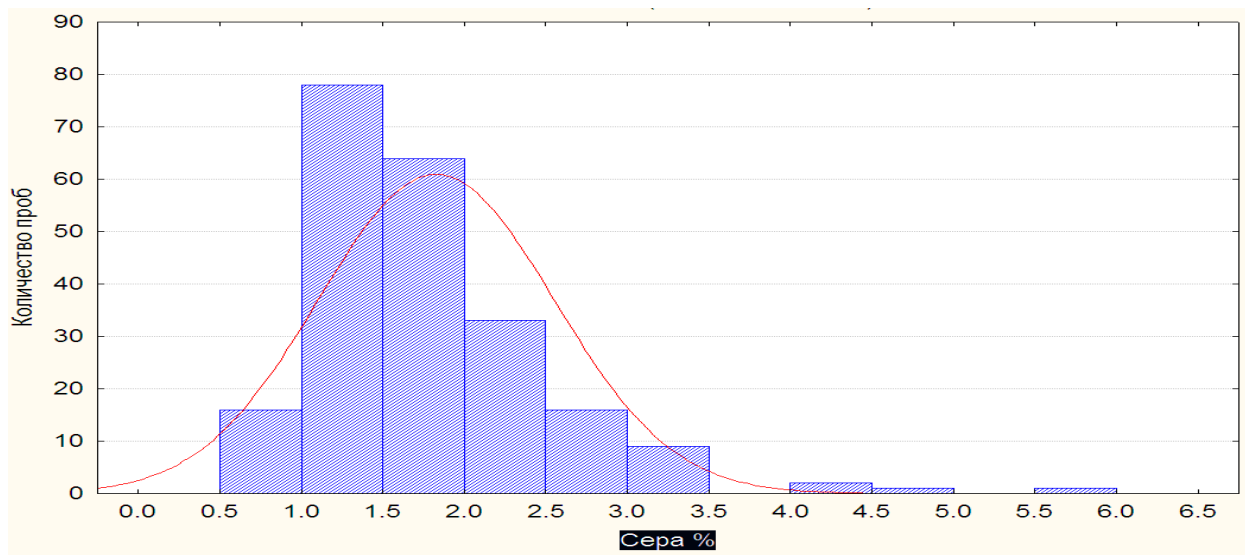


Рис 1.2. Гистограмма распределения серы пласта  $g_1^2$  участка Успеновский 1-2

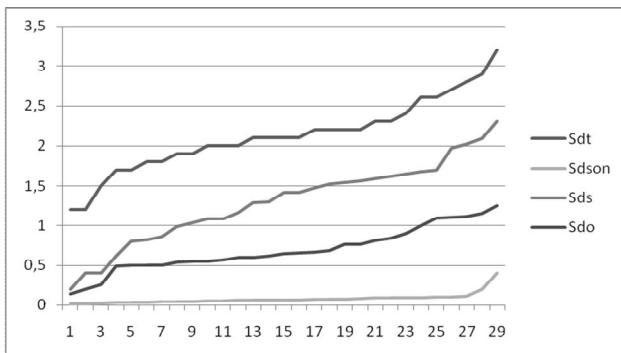


Рис. 1.3. График содержания серы по видам (по значениям)

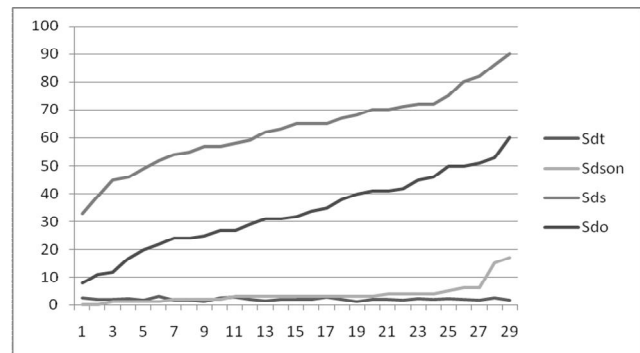


Рис 1.4. График содержания серы по видам (процентное содержание)

Изучение взаимосвязи серы по видам показало, что между общей и сульфидной серы существует тесная корреляционная связь, коэффициент корреляции составляет 0,90. Между общей и органической серой коэффициент корреляции незначительный и составляет -0,31. Для углей с относительно невысоким содержанием общей серы отмечается положительная связь серы сульфидной и органической. Коэффициент корреляции составляет 0,34.

Если сравнить уголь изучаемого пласта, с углями Донбасса и Львовско-Волынского бассейна, то станет очевидным, что изучаемый угольный пласт характеризуется приблизительно такими же соотношениями основных видов серы [3].

По мощности пласта сернистость изменяется в пределах 0,5–2,6 %. Нами установлено наличие двух преобладающих типов изменения сернистости в разрезе пласта. При первом типе (регрессивном) сернистость в стратиграфическом разрезе от почвы пласта к кровле уменьшаться. Во втором случае (трансгрессивном) сернистость в этом направлении увеличивается. Наиболее распространение по нашим данным на участке Успеновском 1–2 получил регрессивный тип распределения серы.

С помощью применяемой математической модели первоначально была построена карта сернистости углей пласта  $g_1^2$  (рис 1.5). Установлено, что по площади распространения пласта распределение сернистости весьма не равномерное. В южной части поля и частично западной, содержание серы пониженное. Зоны с повышенным содержанием серы отмечены в северо-восточной и частично западной частях участка.

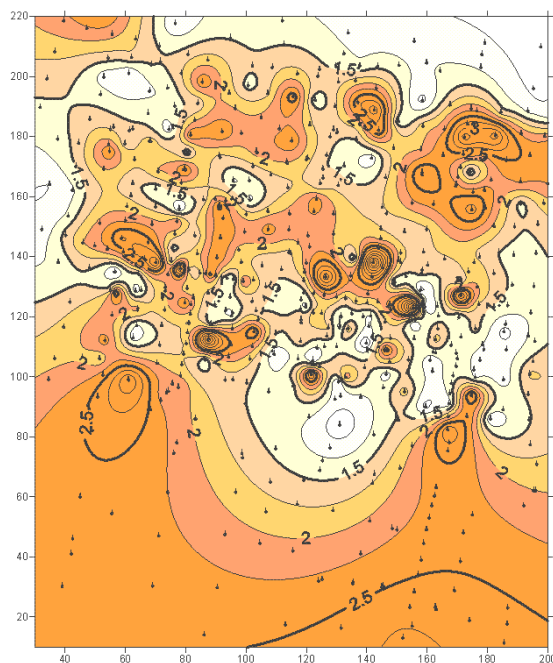


Рис. 1.5. Карта сернистости пласта  $g_1^2$  участка Успеновский 1-2

Сопоставление карт мощности и сернистости угольного пласта построенных с помощью ПЭОМ показало совпадение зон повышенной сернистости пласта с зонами уменьшения его мощности. В дальнейшем это было подтверждено при расчете коэффициентов корреляции между сернистостью и основными геологическими показателями и показателями состава и качества. Наибольший коэффициент корреляции установлен для пары показателей: сернистость – мощность угольного пласта ( $r = -0,51$ ). Установлена взаимосвязь общей серы с мощностью угольных пачек их зольностью ( $r=0,5$ ) и зольностью угольных пластов ( $r=0,42$ ). Отсутствие четкой связи между сернистостью пласта и выходом летучих веществ и другими основными показателями качества углей объясняется незначительными интервалами их изменении. Так, выход летучих веществ изменяется по площади пласта в пределах 33,9–44,9 %. Детальный анализ распространения тектонических нарушений показал на отсутствие связи сернистости с тектоническими нарушениями.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что сернистость угольного пласта  $g_1^2$  контролируются, прежде всего, условиями его формирования. Построенная карта локальных структур (рис 1.6) сернистости подтверждает полученные выводы, поскольку локальные отклонения сернистости от региональной закономерности весьма незначительны.

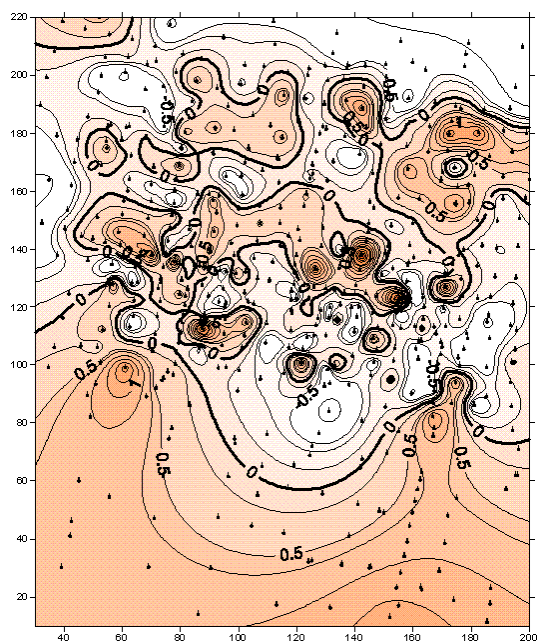


Рис. 1.6. Карта локальных структур сернистости пласта  $g_1^2$  участка Успенковский 1-2

Применение тренд-анализа позволило выявить и региональные закономерности изменения сернистости пласта  $g_1^2$ . Установлено, что с юго-запада на северо-восток содержание серы общей в пласте увеличивается. Эта закономерность объясняется увеличением в этом направлении пористости угленосной формации в целом [5].

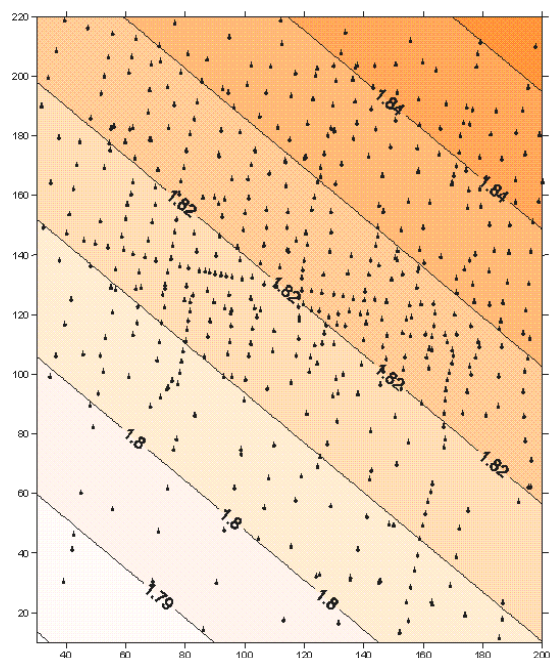


Рис. 1.7. Карта региональных изменений сернистости пласта  $g_1^2$  участка Успенковский 1-2

**Полученные результаты позволяют сформулировать следующие основные выводы:**

- 1) В соответствии с классификацией углей на группы сернистости пласт относится к среднесернистым (содержания серы не превышает 1,5 %);
- 2) Известная для Донецкого и других угольных бассейнов взаимосвязь между формами серы характерна и для среднекарбонных углей Лозовского района;
- 3) Пониженное в целом содержание серы в пласте  $g_1^2$ , по сравнению с другими пластами объясняется широким распространением лагунных отложений в кровле пласта;
- 4) На локальные изменения сернистости по площади распространения пласта наибольшее влияние оказывает мощность угольного пласта;
- 5) В региональном плане сернистость пласта возрастает в северо-восточном направлении, в сторону морской границы бассейна.
- 6) Изучаемые угли по содержанию серы пригодны для использования в энергетике;
- 7) Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку комплексной методики оценки на стадии геологоразведочных работ пригодности для энергетики слабометаморфизованных углей Украины.

Список литературы

1. Дроздник И.Д., Шульга И.В. // О квалифицированном использовании малометаморфизованных углей.- Статья из журнала «Збагачення корисних копалин». – 2009.- Вып. 36.- с. 56-59.
2. Долгий В.Я., Кривченко А.А., Шамало М.Д. // Содержание общей серы в угольных пластах на шахтах Украины.- Статья из журнала «Уголь Украины».- 2000.- № 1.- с. 10-12.
3. Кизельштейн Л.Я. Генезис серы в углях. – М.: Недра, 1975. – 198с.
4. Геологічні роботи на вуглевидобувних підприємствах України. Інструкція. Керівн. норматив. док. М-ва палива та енергетики України КД 12.06.204-99. Чинний від 01.07.2001. Розроб.: Азаров М. Я., Анциферов А. В. Додаток Д. – К.: Мінпаливенерго України, 2001. – С. 55– 60.
5. Данилевская В. А. О некоторых закономерностях изменения свойств и качества углей нижнего карбона Западного Донбасса // Изв. ДГИ. – М.: Углетехиздат. – 1957. – Т. XXIX. – С. 34 – 47.
6. Еремин И. В. Марочный состав углей и их рациональное использование / И. В. Еремин, Т. М. Броневец // – М.: Недра, 1994. – 254 с.
7. Клер В. Р. Изучение и геолого-экономическая оценка качества углей при геологоразведочных работах. – М.: Недра, 1975. – 319 с.
8. Савчук В. С. Опыт применения ПЭВМ для выявления закономерностей изменения состава и качества углей. // Геотехническая механика. – Днепропетровск: Полиграфист. – 2000.– Вып. 17. – С. 297 – 300.

*Рекомендовано до публікації д.г-м.н Нагорним Ю.М.  
Надійшла до редакції 21.11.13*

## О ПРОБЛЕМЕ ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ОРУДЕНЕНИЯ С СЕРЕБРОМ В ДОНЕЦКОМ РЕГИОНЕ

Изучение нового типа полиметаллического рудопроявления с серебряным и медным орудением и его сопоставление с промышленными аналогами Украины и мира дало возможность дать оценку его перспективности и поставить вопрос о проведении дальнейших геологоразведочных работ в регионе.

Вивчення нового типу поліметалічного рудопрояву із срібним та мідним зруденінням та його зіставлення з промисловими аналогами України та світу дало можливість оцінити його перспективність і поставити питання щодо проведення подальших геологорозвідувальних робіт в регіоні.

The analysis of the new show of Ag-Cu complex ore and its comparison with Ukrainian and world-famous industrial analogues makes it possible to estimate commercial prospects of it and put a question of prospects of the search for the minerals in the region.

**Вступление.** В связи с определением своего места в глобальном распределении минеральных ресурсов и меры участия в минерально-сырьевой интеграции, Украина должно сделать переоценку всего разведанного фонда месторождений и государственных балансов, выделив первоочередные рудные объекты, которые отвечают современным рыночным критериям и являются инвестиционно привлекательными. Для выявления и оценки богатых и качественных месторождений, отвечающим мировым сертификатам, необходимо определять геологические условия рудоконцентрации, а также прогнозные критерии и признаки месторождений. На разработку таких критериев направлено дальнейшее изучение Комсомольского полиметаллического рудопроявления, описанное в ранее опубликованных автором работах. Тем не менее, вопрос оценки перспектив рудоносности региона с подобными рудопроявлениями, остается открытым [1].

**Постановка проблемы.** В 2002 году при отработке уступов Северного карьера Комсомольского рудоуправления в известняках стратиграфических горизонтов  $C_1^t c - C_1^t d$  была вскрыта рудная зона с богатым сфалерит-галенитовым орудением жильного типа. Оно расположено в 700–800 м к северо-западу от точки, обнаруженной в 60-е годы. Исследования, проводившиеся на данном рудопроявлении, были направлены на установление генетического типа, что дает возможность ставить вопрос о дальнейших поисках и перспективности данного региона на полиметаллы.

**Цель работы** – изучение нового типа полиметаллического орудения с медной и серебряной минерализацией в карбонатных породах путем выполнения формационного анализа, и сопоставления с другими регионами и промышленными аналогами Украины и мира для оценки его перспективности.

**Изложение основного материала.** Краткий перечень существующих взглядов на происхождение стратиформных месторождений цветных металлов свидетельствует о сложном геологическом строении последних и ставит под сомнение правильность одностороннего (чисто осадочного или гидротермального) подхода к их генезису. Сторонники гидротермальной точки зрения про-

исхождения руд уделяют минимум внимания фаціальным и палеогеографическим особенностям пород и руд, а сторонники осадочной точки зрения – структурному контролю и метасоматозу. Также редко рассматривают вулканизм, как возможный рудогенерирующий фактор.

В стратиформных месторождениях цветных металлов почти всегда наблюдаются более или менее интенсивные постседиментационные изменения первично-осадочных рудовмещающих отложений. Все месторождения проходят стадию диагенеза, большинство месторождений проходит и следующую стадию эпигенеза, характеризующуюся относительно слабым изменением состава и строения минерального вещества без резкой смены геологических условий. Некоторые месторождения в дальнейшем подвергаются метаморфизму под влиянием радикального воздействия тепла, механических напряжений и химически активных процессов земной коры.

При изучении тех или иных стратиформных рудных месторождений основное внимание исследователей направлено на установлении источника металлов. Для осадочных стратиформных месторождений обычно удается с большей или меньшей степенью достоверности установить области питания. Ими, как правило, являются более древние породы смежных территорий с повышенным содержанием металлов. К примеру, для медистых песчаников Джебказгана область питания установлена к северу и северо-западу месторождения. В ней среди верхнедевонской красноцветной формации обнаружены многочисленные рудопроявления меди, представленные небольшими пластовыми залежами грубозернистых песчаников с вкрапленностью минералов меди. Количество меди в отдельных обогащенных участках достигает 2–6 %. При размыве и разрушении этих рудоносных пород рудный материал транспортировался в Джебказганскую впадину, где происходила его концентрация и создавалась основа будущего Джебказганского месторождения.

Областью питания медистых песчаников Донбасса служили Приазовский кристаллический массив и сочленение его с южной окраиной Донбасса. В ней установлены многочисленные проявления меди контактово-метасоматического и гидротермального генезиса, которые приурочены к докембрийским гранитоидам, осадочно-эффузивным породам верхнего девона и известнякам нижнего карбона. Интерпретация результатов последних исследований серых пород картамышской свиты из скважины и обнажений из рудных и нерудных участков позволили воссоздать условия рудообразования по минералогическим и изотопно-геохимическим критериям. Безрудные аргиллиты и песчаники обогащены Co, Ni, W и обеднены B, Ca, La, Lu, Rb, Tl по отношению к соответствующим кларкам. В процессе рудообразования серые прослои были обогащены Ag, As, Bi, Ca, Cd, Cu, Hg, Mg, Mn, Mo, Pb, Re, S, Te, U и Zn, и обеднены W. Выявлено, что рудообразование формировалось в три этапа: биогенного пиритообразования (формирование минерализации глобулярного пирита в процессе бактериальной сульфатредукции на стадии раннего формирования осадка), стратиформного рудообразования (поступление вдоль разломных зон глубинных металлоносных рудообразующих растворов в сероцветные горизонты, формирование рудных тел с их смешиванием с подземными метеорными водами сероцветных слоев) и гипер-



генного обогащения (переотложение меди на фоне окисления рудных тел). Решение вопроса о перспективности добычи меди в Северо-Западном Донбассе требует постановки целевых работ по разведке отдельных объектов, причем содержание драгоценных металлов в рудах также являются объектом особого внимания с целью повышения рентабельности добычи меди [2].

В образовании эндогенных руд зоны сочленения Донбасса с Приазовским кристаллическим массивом принимали участие генетически различные геологические процессы. Минеральные ассоциации, структурно-текстурные особенности руд, окolorудные изменения пород, закономерности размещения оруденения и другие данные позволяют выделить магматическую, скарновую и гидротермальную группы месторождений.

Общей особенностью рассматриваемых месторождений, определяющих их высокую промышленную ценность, является широкое площадное распространение оруденения и в ряде случаев его многоярусное строение. В результате этого характеризующиеся месторождения обладают значительными запасами руд, преимущественно залегающими вблизи поверхности и характеризующихся нередко высокими содержаниями металлов. В достаточно разнообразных по составу месторождениях наряду со свинцом и цинком концентрируются крупные запасы меди, серного колчедана, флюорита, барита, а в некоторых случаях также сурьмы, ртути и мышьяка. Руды большинства месторождений обогащены редкими и рассеянными элементами и, в частности, содержат серебро, кадмий, германий, таллий, кобальт, никель, германий, галлий, реже висмут, теллур, золото, иногда уран, находящиеся в извлекаемых количествах. Все это определяет характеризующиеся свинцово-цинковые месторождения в качестве важных промышленных объектов.

Строение и геологическое развитие телетермальных меднорудных и свинцово-цинковых провинций как особых самостоятельных структур и металлогенических зон континентальной земной коры показал, что специфические особенности их металлогении связаны с определенным типом разреза земной коры, формирование которого обусловлено развитием геодинамического режима недр. Рудоносные провинции часто приурочены к пологим склонам щитов или плитам, и проявлены в антеклизмах, авлакогенах, перикратонных прогибах. К первым, размещающимся на плитах в краевых частях платформ, неоднократно активизировавшихся в связи с развитием окаймляющих их разновозрастных складчатых эпигеосинклинальных орогенных поясов, относят плиты Мидконтинент южной краевой части Северо-Американской платформы, Вольно-Подольскую плиту в юго-западной краевой части Восточно-Европейской платформы и др. Днепровско-Донецкий авлакоген является примером рудоносной провинции в антеклизе, ограниченной авлакогенами. Он демонстрирует тот факт, что месторождения здесь концентрируются как на склонах расколовшихся поднятий фундамента (Украинской и Воронежской антеклизы), т.е. в бортах палеорифтового сооружения, так и внутри последнего, где они формируются на склонах внутренних локальных поднятий, т.е. в бортах впадин второго порядка (краевые части Бахмутской и Кальмиус-Торецкой котловин, развившихся на склонах главного варисского горст-антиклинального поднятия Донбасса).

Галенит-сфалеритовые месторождения, приуроченные к карбонатным породам, выделены в отдельную формацию. Но к ней относятся и месторождения, локализованные в карбонатно-терригенных породах. Рудные тела рассматриваемой формации имеют пластообразную форму и отличаются довольно простым минералогическим составом (основные минералы – галенит и сфалерит, кроме них наиболее часто встречаются пирит, барит, флюорит). Ведущими текстурами являются прожилково-вкрапленная и вкрапленная, реже встречаются полосчатая и массивная. Эти особенности послужили основанием для выделения отдельного промышленно-генетического типа – свинцово-цинковых «стратиформных» месторождений, причем особо подчеркивалась приуроченность к толщам карбонатных пород. Обоснование систематики рудной формации включает в себя геологическое строение месторождения, его минеральный состав, окологорудное изменение, геологические и геохимические условия формирования и т.д. Типичными представителями данной группы месторождений являются месторождения России (Восточное Забайкалье), Казахстана (Миргалимсай, Ачисай), США (район Юго-Восточного Миссури), Канады (Пайн-Пойнт), Ирландия (Наван) и т.д.

К зоне сочленения Донбасса с Приазовским кристаллическим массивом относится Комсомольское полиметаллическое рудопроявление, расположенное в зоне влияния Волновахской зоны разломов, входящих в структуру Южно-Донбасского глубинного разлома. Эту структуру пересекают поперечные разломы субмеридионального простирания – Войковской зоной надвигов на востоке и Горняцким и Александрийскими разломами на западной площади. Также имеются разломы северо-восточного простирания – Камышевахский и Викторовский. По имеющимся геологическим данным разломы закладывались в верхнем протерозое и испытывали неоднократную активизацию вплоть до альпийского этапа тектоногенеза. В геологическом строении площади принимают участие гранитоиды докембрия, вулканогенно-осадочные образования девона, карбонатные и терригенные отложения нижнего карбона. Отмечаются эффузивные проявления базальтов, трубки и дайки кимберлитов девона, субвулканические тела и дайки трахитов, андезитов и порфиритов пермь-триасового возраста. На площади развиты складчатые деформации, сформированные в эпоху герцинского тектоногенеза и вторичные приразломные складки, образовавшиеся при активных движениях по разломам.

Рудная жила Комсомольского рудопроявления приурочена к участкам брекчированных известняков нижнего карбона и представлена, в основном, галенитом и сфалеритом. В небольших количествах присутствует пирит, халькопирит, марказит, полибазит, акантит, тетраэдрит, теннантит, самородное серебро. Основные элементы-примеси представлены Cu, Cd, Sr, Sb, Sn, Ge, Ag.

По данным химического анализа 3 бороздовых проб длиной 0,5–0,6 м в жиле установлены следующие содержания полезных компонентов: PbO – 0,12–22 %; ZnO – 0,35–1 %; Ag – 29–56 г/т. Содержание рудных компонентов по каждой из бороздовых проб приведены в таблице 1.

Таблица 1

Содержание рудных компонентов в бороздовых пробах, отобранных из рудной жилы Северного карьера Комсомольского рудопроявления

№ пробы	Длина пробы, м	Вес пробы, кг	Содержание рудных компонентов		
			PbO	ZnO	Ag
1	0,5	8,1	0,12 %	1,00 %	50 г/т
2	0,6	9,4	22,0 %	0,35 %	56 г/т
3	0,5	7,9	5,00 %	0,70 %	29 г/т

По данным пробирного и спектрального анализов, руда характеризуется повышенным (до 200–300 г/т) содержанием серебра. Значительная сереброносность Комсомольского рудопроявления свидетельствует о возможности нахождения в пределах территории объектов, которые могут стать источником комплексного сырья, дефицитного в Украине. Выполненные микрозондовые анализы галенита и сфалерита Комсомольского рудопроявления примесей серебра в этих минералах не обнаружили, что дало основание для установления основных минералов-концентраторов серебра и их распределения в рудах. По данным проведенных исследований, основными минералами-концентраторами серебра в руде являются полибазит, акантит, самородное серебро и тетраэдрит. Эти минералы впервые установлены для Комсомольского рудопроявления [3].

Полибазит обнаружен оптически и с помощью микрозондового анализа (табл. 2). Он встречается только в галените в виде мелкой вкрапленности округлых и призматических включений размером 2–5 мкм. Полибазит характеризуется высоким содержанием Cu, которое в одном из включений превысило количество Ag. Акантит определен оптически по невысокой отражательной способности (~35 %), серовато-сизому цвету и характерному быстрому окислению поверхности под действием света, который сопровождается потемнением минерала. Минерал наблюдается преимущественно в сфалерите, где образует призматические и неправильной формы зерна размером до 0,3–0,5 мм. Также встречен в галените среди мелких включений структур распада твердых растворов состав акантит-халькозин-галенит, акантит-тетраэдрит и тому подобное.

Таблица 2

Химический состав полибазита Комсомольского рудопроявления

№ обр	Zn	Fe	Cu	Ag	Sb	As	Bi	Te	Se	Mn	Pb	S	Сумма
%													
6	0,07	0,00	18,83	50,47	11,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,43	17,63	99,02
2-3-1	0,00	0,00	24,51	38,09	12,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,56	19,82	100,06

Самородное серебро наблюдается редко, преимущественно вдоль контакта сульфидов с агрегатами мелкозернистого кальцита, которые замещают сульфидные агрегаты.

Блеклые руды являются самыми распространенными сульфосолями в рудных агрегатах. Среди блеклых руд установлен тетраэдрит ( $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) и теннантит ( $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$ ).

Между содержанием Ag и Cu отмечается обратная зависимость (рис. 1), которая является результатом изоморфного замещения серебром меди в структуре блеклых руд.

Тетраэдрит, преимущественно, образует неравномерную мелкую вкрапленность в галените. Размер включений – 1–30 мкм. Зерна скапливаются исключительно вдоль пустот и межзерновых границ, а также ориентированы вдоль межкристаллических границ агрегатов галенита, нередко образуя разреженные неправильные цепочки.

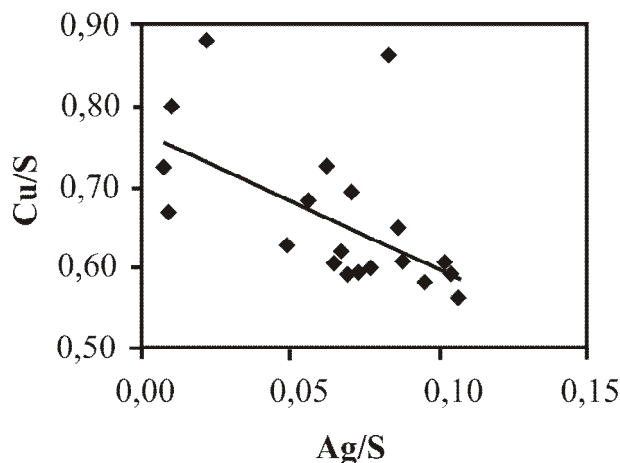


Рис. 1. Соотношение Ag-Cu в составе блеклых руд Комсомольского рудопоявления

Наличие элементов-примесей, которые могут попутно извлекаться из руд, например, серебра, кобальта, кадмия, никеля, германия, галлия, таллия и др., является одним из важных классификационных признаков стратиформных свинцово-цинковых месторождений.

Процессы формирования руд Донбасса и зоны сочленения его с Приазовским кристаллическим массивом тесно связаны со сложной и длительной историей геологического развития этого региона. Имеющиеся данные указывают на докембрийский возраст наиболее древней рудной минерализации Приазовского кристаллического массива. Это подтверждают результаты изотопных анализов свинца галенитов Октябрьского щелочного массива и Петрово-Гнутовского рудопоявления. Начальный этап активизации  $D_2$ – $D_3$ , сопровождавшийся основным магматизмом, способствовал образованию титаномагнетитового рудопоявления. В течение этого периода, вероятно, образовалась и медно-сульфидная постмагматическая минерализация в палеобазальтах. Опираясь на тектонофизические исследования, можно с уверенностью говорить о полихронном характере минерализации Донбасса. Согласно полученным результатам герцинское поле (P–T) характеризуется взбросовым типом и преобладанием сжимающих усилий. В киммерийское время ( $T_3$ – $K_1$ ) при сбросовом поле присутствовали условия растяжения, а сдвиговый тип поля характерен для альпийского тектоногенеза (K–Pg) [4]. Следовательно, благоприятные геодинамические условия существовали в постгерцинское время в течение длительного периода, с чем и связан полихронный и полигенный характер рудной минерализации Донбасса и зоны сочленения его с Приазовским кристаллическим массивом.

Полиметаллическая рудная жила Комсомольского рудопроявления в карбонатных породах также была изучена с помощью тектонофизических методов. Результаты подтвердили тесную пространственную и генетическую связь этого стратиформного рудопроявления с полиметаллическими месторождениями и рудопроявлениями других морфологических типов, а также был сделан вывод о том, что формирование этих объектов происходило в течение длительного периода на фоне формирования новых тектонических структур.

При рассмотрении особенностей формирования как свинцово-цинковых, так и меденосных стратиформных образований, также обращает на себя внимание такой интересный факт, как пространственная, и, вероятно, генетическая связь с нефтегазоносными регионами. Особенно это характерно для провинций, располагающихся на платформах и прилегающих к платформам площадях. Четко прослеживается такая связь в пределах активизированных частей платформ, в которых свинцово-цинковые и меденосные провинции развиваются на плитах, в областях умеренных опусканий с мощностью осадочного чехла до 3 м, а нефтеносные сосредоточены в прогибах и впадинах, характеризующихся мощностью осадочного чехла до 15 км (перикратонные впадины, авлакогены). В свинцово-цинковых рудах широко развиты органические соединения – жидкие нефти, углеводородные газы, а также антракосолит, асфальтиты, озокерит, парафины. Находятся они в виде небольших самостоятельных выделений или как включения в минералах. В месторождениях, формирующихся вблизи нефтеносных районов, например, в Предкарпатском прогибе, возникают промышленные скопления битумов. Например, Трускавецкое свинцово-цинковое рудопроявление расположено в переходной зоне между Предкарпатским прогибом и Складчатыми Карпатами и имеет в составе нерудных минералов твердые, жидкие и газообразные битумы. Концентрации битумов, очевидно, синхронны с отложениями сульфидов, и связаны с миграцией рассеянных органических веществ из смываемых термальными водами пород. Месторождения углеводородов образуются в связи с вторжением флюидов (углеводородов и термальных вод) из очагов их глубинной генерации. Также происходит вторжение флюидов в верхние части фундамента и в осадочный платформенный чехол. Рудные и нефтяные месторождения формируются в геологически короткие промежутки времени. При этом отмечается импульсный характер как рудообразования так и поступления углеводородов, что в одинаковой мере объясняется определенной связью в недрах.

Еще один немаловажный факт связывает вышеупомянутое рудообразование с нефтегазоносными провинциями. Палеонтологические исследования выявили факт массового вымирания организмов, что подтвердилось отсутствием последовательности биостратиграфических подразделений по аммоноидеям, мшанкам, миоспорам и других представителям фауны и флоры. Обращает на себя внимание интенсивное накопления органического вещества и положение нефтематеринских горизонтов во многих нефтегазоносных бассейнах Северного полушария: Тимано-Печерского, Волго-Уральского, Западно- и Восточно-Сибирского и нефтегазоносных провинциях Канады и США. Синхронно с этими событиями происходило активное и концентрированное рудообразование глобального металлогенического стратоуровня. Все вышеперечисленное связыв-

вают с временным интервалом проявления Хангенбергского глобального геологического события рубежа девонской и каменноугольной систем, в карбонатных разрезах которой зафиксирован маломощный глинистый горизонт, который прослеживается как в открыто-шельфовых относительно глубоководных, так и мелководно-шельфовых отложениях. Присутствие этого глинистого горизонта незначительной мощности отмечалось многими исследователями в карбонатных морских разрезах по периферии Европейской и Северо-Американской платформ. Упомянутый глинистый горизонт представлен темно-серыми и черными аргиллитами, часто алевролитистыми, с резко обедненным, но смешанным составом фауны и миоспор. Выявлена незначительная примесь слюдистого, известковистого или кремнистого материала, установлено повышенное содержание органического вещества. К интервалу глинистого горизонта приурочена геохимическая аномалия (в 20–100 раз выше кларка) иридия, никеля, хрома, кобальта, мышьяка, сурьмы, ртути, урана и других элементов, а также изотопно-геохимическая аномалия. На этом уровне фиксируется аномальное состояние геомагнитного поля Земли, существовавшее во время накопления глинистых пород. Впервые на глинистый горизонт (сланцы Хангенберг), залегающий в основании Хангенбергских известняков и в прикровельной части известняков Воклюм, обратил внимание О. Валлизер при исследовании пограничных отложений двух систем в разрезах рейнских сланцев. В результате проведенных исследований им было сделано заключение, что формирование аргиллитов происходило в относительно глубоководных аноксидных обстановках морского бассейна. Также они знаменуют собой время перестройки палеоэкосистемы и биосферы на рубеже девона-карбона в связи с проявлением крупных деструктивных геотектонических процессов на раннем этапе герцинского орогенеза, названное им “Хангенбергское глобальное геологическое событие” (ХГГС). Позднее на границе верхнего девона и нижнего карбона в карбонатных разрезах Западной Европы (Франция, Бельгия, Австрия, Польша, Великобритания), США, Канады также был выявлен аналогичный глинистый горизонт, что косвенно указывало на литологическое сходство и формационное единство пограничных разрезов Северного полушария [5].

Хангенбергское глобальное геологическое событие является одним из крупных геологических событий позднего палеозоя, во время которого наблюдалась значительная тектоно-магматическая активизация на фоне заключительного этапа рифтогенеза, начавшегося в позднем девоне и продолжавшегося отчасти в раннем карбоне. В ходе данного эпизода образовалась разветвленная и протяженная система рифтов и грабенов по периферии Европейской платформы (Днепровско-Донецкий, Кировско-Кажимский, а также проторифты Южной Англии), Сибирской (Васюганская депрессия, Кузнецкая котловина), Северо-Американской (бассейн Делавер, Аппалачский и др.) и Южно-Китайской платформ, а также в пределах почти всей площади Западно-Арктической континентальной окраины (Норвежский шельф, Северное море, Шпицберген, бассейны Баренцева и Печерского морей), Казахстано-Тяньшаньского срединных массивов. Синхронно с рифтогенезом происходили: активизация разномасштабных эндогенных процессов плюмового мантийного магматизма; излияния базаль-

тов; дестабилизация геомагнитного поля Земли и отчасти его инверсия; формирование разнотипных по генезису и составу рудных формаций и месторождений с контрастными ассоциациями полезных компонентов (алмазоносные, редкоземельные и редкометалльные, золото-серебряные, платиноидные, колчеданно-полиметаллические и др.). Последнее было связано с возможностью генерации широкого спектра расплавов из исходного мантийного субстрата. На фоне общего растяжения и тектоно-магматической активизации имело место поднятие и опускание значительных блоков земной коры, в том числе образование системы поднятий и впадин по периферии древних платформ, дальнейшее углубление малых океанических бассейнов, существовавших с позднего девона (Слайд Маунтин, Гудньюз, Оймяконский, Ангаючан и др.). Тектоно-магматические процессы обусловили поступление значительного количества кремнезема и сопутствующих малых элементов, резкие эвстатические флуктуации уровня моря (частые трансгрессии, прерывавшиеся кратковременными регрессиями), изменение режима седиментации и палеоэкологических условий, а также появление аноксидных обстановок в морских бассейнах, что и повлекло за собой массовое вымирание организмов.

Наличие глинистого прослоя в карбонатных разрезах пограничных отложений девона-карбона по восточной и юго-восточной периферии Европейской платформы ранее отмечалось неоднократно. Его присутствие было описано во многих разрезах скважин, включая р. Малая Волноваха Центрального Донбасса. ХГГС проявилось на фоне масштабных деструктивных геологических процессов, происходивших в раннюю фазу герцинского орогенеза. В это же время сформировались складчатые деформации и вторичные приразломные складки, которыми осложнена Волновахская зона разломов в пределах которой расположено Комсомольское полиметаллическое рудопроявление. В геологическом строении площади принимают участие гранитоиды докембрия, вулканогенно-осадочные образования девона, карбонатные и терригенные отложения нижнего карбона. В этих породах отмечаются эффузивные образования базальтов, трубки и дайки кимберлитов девонского возраста, а также субвулканические тела и дайки трахитов, андезитов и порфиритов пермь-триасового возраста.

**Выводы.** Таким образом, учитывая вышеизложенные факты, можно заметить общность структурно-тектонических, стратиграфических, геохимических, минералогических признаков, впервые полученных при изучении Комсомольского полиметаллического проявления, и, в свою очередь, объединяющих стратиформные месторождения и рудопроявления Донбасса и зоны его сочленения с Приазовским кристаллическим массивом с другими регионами мира, в которых расположены подобные месторождения. Изученное Комсомольское полиметаллическое рудопроявление с серебром по ряду описанных выше признаков также является, по-видимому, одним из элементов крупного геологического события, характеризуемого как стратиграфический интервал, во время которого наблюдалась значительная тектоно-магматическая активизация на фоне заключительного этапа рифтогенеза, начавшегося в позднем девоне и частично продолжавшегося в нижнем карбоне. Фактические данные, имеющиеся в нашем распоряжении, позволяют считать район Комсомольского рудопроявления пер-

спективним на полиметалли з попутним извлеченням срібра і ставити питання про далішні розведочні роботи на даній території і інших об'єктах з подібним геологічним строєнням.

#### Список літератури

1. Гавриленко Н.М. Мінеральні ресурси України. Сучасні проблеми і фактори розвитку мінерально-сировинного комплексу України / Н.М. Гавриленко, Е.А. Кулиш, А.І. Зарицький [і др.]. – Київ: НАН України, 1993. – 122 с.
2. Ємець О. В. Етапи формування стратиформних рудопроявів міді типу “RED-BED” у північно-західному Донбасі: результати геохімічних досліджень і процеси рудоутворення ч. 2. / В. О. Ємець, М. В. Жикаляк, П. Ф. Решетарський // Мінералогіч. журнал. – 2009. – Т. 31, № 1. - С. 63-83.
3. Ємець В.О. Мінерали срібла Каракубського рудопрояву (Волновахська зона, Донбас) / В.О. Ємець, В.М. Загнітко, О.О. Юшин // Мінералогіч. журнал. – 2003. – Т. 25, №2-3. - С. 22-26.
4. О связи полей тектонических деформаций и напряжений с рудоносностью в Донбассе / [Корчемагин В.А., Дудник В.А., Панов Б.С., Алехин В.И.] // Геофизический журнал. – 2005. – Т. 27. – С. 97-109.
5. Седаева К.М., Рябинкина Н.Н. Седиментологический маркер Хангенбергского глобального геологического события рубежа девона-карбона в разрезах осадочного чехла северо-востока Европейской платформы / Наукові праці ДонНТУ. Серія гірничо-геологічна. Вип. 15 (192). 2011 р. С. 46-53.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Додатком О.Д.  
Надійшла до редакції 20.11.13*

УДК 550.83:504

© О.Г. Білашенко

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ МІЖСВЕДЛОВИННОГО ПРОЗВУЧУВАННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО ВПЛИВУ ВЕЛИКИХ ТЕХНОГЕННИХ ОБ'ЄКТІВ НА ВЕРХНЮ ЧАСТИНУ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА**

Представлені особливості фізико-геологічного моделювання і розрахований аномальний ефект для обґрунтування використання методу міжсвердловинного прозвучування при дослідженні геоекологічного впливу техногенних об'єктів на верхню частину геологічного середовища

Представлены особенности физико-геологического моделирования и рассчитан аномальный эффект для обоснования использования метода межскважинного прозвучивания при исследовании геоэкологического влияния техногенных объектов на верхнюю часть геологической среды

The peculiarities of physical and geological modeling and calculated anomalous effect to justify the use of the method in the study of inter-well sounding Geoeological influence of man-made objects on top of the geological environment

**Вступ.** Прискорення промислового розвитку потребує збільшення об'єму геологорозвідувальних робіт з метою пошуку родовищ корисних копалин, збі-



льшення об'єму видобутку та переробки корисних копалин в окремих регіонах. Це призводить до нерівномірних регіональних та локальних змін геологічного середовища та створення все більшої кількості техногенних об'єктів на поверхні землі та у приповерхневій частині геологічного середовища. Основою для цього є мінерально-сировинна база території України. Адже за кадастровим обліком загальна кількість розроблювальних родовищ більше 3000, це складає близько 30 % від загального балансового об'єму. Щорічний видобуток становить біля 480 млн. т, в обсягах значно домінує залізна руда (видобуток близько 170 млн. т) та кам'яне вугілля (50 млн. т) [1]. Існуючі великі техногенні об'єкти (наприклад, сховища відходів) можуть впливати на породи верхньої частини розрізу (ВЧР), водоносні горизонти, приземний шар атмосфери тощо.

Аналіз наземної геолого-геофізичної інформації служить основою для побудови фізико-геологічних моделей (ФГМ), що відображають особливості будови досліджуваної території, характеру її обводнення, розвитку фізико-геологічних процесів, техногенного забруднення. На даний час існують багато методів дослідження приповерхневої частини геологічного середовища. Геоекологічні (детальні) дослідження (відбір зразків рослинності, порід верхньої частини розрізу з глибини 10–20 см, радіо геофізичні дослідження). Гідрогеоекологічні (детальні) дослідження (відбір зразків з лесового та неогенового водоносних горизонтів у існуючих свердловинах). Геофізичні (крупно та середньомасштабні) дослідження для вивчення особливостей геодинамічного стану району та пошуку рудопроявів, інженерні (геолого-геофізичні) дослідження для контролю за станом греблі, буріння та інші [2]. На рівні свердловинних досліджень геолого- геофізична інформація дає відомості про точні геометричні параметри розрізу, фізичні властивості порід і водоносних горизонтів. На основі цих даних встановлюються кореляційні залежності між геофізичними та інженерно-геологічними параметрами, оцінюються локальні особливості техногенного впливу [3-4]. Однак існуючі результати нерівномірні у просторі та часі, можуть призводити частково до протилежних результатів та, в свою чергу, до різних управлінських рішень щодо зменшення впливу на геологічне середовище. Також необхідно обирати метод дослідження, що дозволить зменшити тривалість робіт та дасть можливість проводити їх у моніторинговому режимі.

**Мета:** проаналізувати ефективність використання геофізичного методу (міжсвердловинного прозвучування) для дослідження ореолів розповсюдження забруднення на прикладі сховищ відходів.

**Завдання дослідження:**

Для цього в період дослідження необхідне вирішення наступних завдань:

- 1) Проаналізувати існуючі техногенні об'єкти, виділити основні типи досліджуваних об'єктів (систематизація);
- 2) Створити геометричні моделі основних типів об'єктів та вміщуючого геологічного середовища (моделювання);
- 3) Створити фізико-геологічні моделі об'єктів та впливу на ВЧР;
- 4) Розрахувати аномальний ефект між годографами «чистої» та «забрудненої» території, оцінити ефективність використання міжсвердловинного прозвучування.

**Характеристики, що визначаються експериментально.** Аномальний ефект при використанні геофізичного методу (міжсвердловинного прозвучування) для дослідження ореолів розповсюдження забруднення від техногенних об'єктів.

**Особливості фізико-геологічного моделювання впливу об'єктів техногенно навантажених територій.** Оцінка шляхів впливу об'єктів включає розрахунок розповсюдження забруднення через (вітровий перенос, змив в пониження рел'єфу, проникнення у породи верхньої частини розрізу (ВЧР), а також фільтрацію вбоки та низ; при неправильному гідрологічному режимі сховища, можливе утворення техногенного горизонту, можливе підняття рівня лесового водоносного горизонту та подальше розповсюдження у породи ВЧР). Розповсюдження забруднення через водоносні горизонти найбільш проблемне питання. При збільшенні техногенного навантаження глибина залягання водоносного горизонту з кожним роком зменшується. По отриманим геолого-геофізичним даним ореоли розповсюдження забруднення через водоносні горизонти від джерела значно більша ніж інші шляхи (для існуючих сховищ). Фізико-геологічне моделювання є важливим етапом дослідження ореолів розповсюдження забруднення від техногенних об'єктів.

Спочатку формулюють апріорну модель (опис об'єкта та його приблизних властивостей за попередніми даними) та виділяють найважливіші характеристики (параметри), проводять описання математичного закону, який діє на цей об'єкт чи процес, визначають мету дослідження, процес дослідження та коректировку моделі для наближення до реального об'єкту.

Для оцінки можливого ореолу забруднення важливо систематизувати інформацію щодо особливостей вміщуючих та перекриваючих порід та створити геометричні моделі розповсюдження забруднень у приповерхневій частині геологічного середовища.

**Геометричні моделі розташування сховищ та особливості їх впливу на компоненти геологічного середовища.** На даний час з розвитком промисловості України у геологічному середовищі спостерігається значне створення техногенних об'єктів в різних геологічних формаціях, зі значною кількістю і різними фізичними властивостями відходів. Значно перевищений час експлуатації існуючих сховищ, недоврахована при будівництві геодинамічна обстановка регіону, розвиток промислової та господарської діяльності навколо сховищ та як наслідок різний вплив на геологічне середовище [1]. З метою дослідження та зменшення техногенного навантаження створюються різні класифікації сховищ та відходів. Нижче у таблиці 1 наведена узагальнена інформація (Таблиця 1).

Існуючі сховища за особливостями розташування у різних геологічних формаціях та літологічному складі умовно розділимо на 4 типи: поверхневі, приповерхневі, схилі, ярово-балкові.

1. *Поверхневі хвостосховища* розташовані на субгоризонтальній території. З усіх боків вони повинні бути захищеними насипами із щільних матеріалів (наприклад, суглинків та шлаку). Основні проблеми, пов'язані із розповсюдженням забруднення, у цього типу хвостосховищ викликані коливаннями (в т.ч. сезонними) глибини залягання лесового водоносного горизонту та можливим замочуванням тіла відходів. Це може призвести до розповсюдження забруднення через водоносні горизонти.

## Узагальнена класифікація існуючих сховищ

Особливість	Основні типи		Особливість	Основні типи
За активністю відходів	Радіоактивні	Низькорадіоактивні	Відносно заводу	На території об'єкту
		Середньорадіоактивні		Поза територією
		Високорадіоактивні	Розташування в рельєфі	В природному рельєфі
Нерадіоактивні	-	В техногенному		
За станом відходів	Жидкі	-		Поверхневі
	Тверді	-	Приповерхневі	
	Змішані	-	Схилові	
За ступінню покриття	Перекриті (законсервовані)	Тверде покриття	Ярово-балкові	
		Рідке покриття	Глибокозалягаючі	
За використанням	Неперекриті або частково	-	Глибина во- доносного горизонту	0-3 м
		Діючі		3-5 м
		Не діючі		5

2. *Приповерхневі сховища* утворюються при похованні на невеликій глибині відходів діяльності підприємства.

3. *Схилові хвостосховища* розташовуються на схилах, часто у відпрацьованих кар'єрах. При плануванні таких хвостосховищ враховують нахил вміщуючих порід, напрям і рівень водоносних горизонтів, кут нахилу днища сховища, підстилаючі геологічні фації.

4. *Ярово-балкові хвостосховища* розташовуються в природно сформованій мережі балок та ярів. Для створення хвостосховища такого типу балка перегороджується насипною греблею з щільного матеріалу. Підготовка ложа здійснюється частково. Для зменшення інфільтрації дощовий потік направляється відвідними каналами. Таким чином важливо проводити дослідження фізичних властивостей вміщуючих порід, підземного водоносного горизонту та поверхневих вод для уточнення активності інфільтраційних процесів, встановити положення та характеристики лінз в тілі відходів, а також зміни їх розмірів, положення і властивостей. Також слід спостерігати за шаром, що покриває відходи, якщо відбудеться його розмивання, створиться загроза поширення забруднення з вітром.

Запропоновані типи хвостосховищ далі використовують у фізико-геологічному моделюванні та при визначенні ореолів розповсюдження забруднення. Подальше дослідження повинно передбачати встановлення за допомогою геофізичних методів (наприклад, між свердловинного прозвучування) фізичних властивостей відходів, рівня залягання лесового та неогенового водоносного горизонту, уточнення глибини розповсюдження забруднення.

Як приклад, фізико-геологічного моделювання та розрахунку аномального ефекту для оцінки геоecологічного впливу техногенного об'єкту представлені сховища Дніпропетровської області. Одними з найнебезпечніших є сховища відходів тимчасового складування, створені у ХХ столітті на території Дніпропетровсько-Дніпродзержинської агломерації. Вони відносяться до сховищ рідких радіоактивних відходів недіючі та не законсервовані, отже досі впливають на компоненти геологічного середовища. Ці сховища, розташовані на території та поблизу м. Дніпродзержинськ.

Серед них найбільшими є сховище «С» 1 та 2 секції. Відходи у сховищах складаються з наливних відкладень, представлених супісками та суглинками потужністю 7-27 м. Нижче наведено літологічні умови створення сховищ та основні шляхи розповсюдження забруднення (Таблиця 2).

Таблиця 2

Особливості розміщення та впливу відходів у геологічному середовищі

Сховища РАВ	“Сухачівське” (1 та 2 секції)	“База С	“ДП № 6”	“Південно-Східне”	“Західне”	“Дніпровське”
Геоморфологічні умови створення	Ярово-балкова мережа	цокольно піднесена рівнина	цокольно піднесена рівнина	відпрацьований глиняний кар'єр	відпрацьований глиняний кар'єр	заплава Дніпра
Загальна активність, Бк	$7,1 \times 10^{14}$	$4,4 \times 10^{14}$	$1,3 \times 10^{12}$	$6,7 \times 10^{12}$	$1,8 \times 10^{14}$	$1,4 \times 10^{15}$
Потужність експозиційної дози	0,14-0,19 мкЗв/годину	4-4,31 мкЗв/годину	100-1100 мкР/годину	100-6000 мкР/годину	22-415 мкР/годину	220-10000 мкР/годину
Потенційні шляхи розповсюдження забруднення	Через днище балки та нижній горизонт до 1,15 км	через днище сховища	через днище сховища, водоносний горизонт	через днище до 0,6 км	через днище у водоносний горизонт	через днище та греблю у водоносний горизонт
Можлива глибина забруднення	0,3-1,2 м (в місцях розливу пульпи)	до 2 м	0,5-5 м	1-11 м	до 5 м	1-6 м

Так як забруднення на початку розповсюджується через водоносні горизонти і враховуючи наявність інженерних свердловин, то для дослідження цього процесу важливо застосовувати такий геофізичний метод як між свердловинне прозвучування. Головним етапом є моделювання процесу розповсюдження забруднення з урахуванням властивостей відходів, вміщуючих порід, швидкості та амплітуди коливань першого водоносного горизонту, швидкості інфільтрації, процесів осідання та інше.

Основними причинами розповсюдження забруднення від сховищ відходів є водоносні горизонти, «літологічні вікна», метеорологічні чинники та техногенні фактори (неправильна експлуатація та будівництва, техногенно діяльність на прилеглих територіях, перевищення прогнозованого часу експлуатації). А математичні розрахунки можливого розповсюдження забруднення згідно гідро-геологічних особливостей призвели до можливо значного вже утвореного ореолу забруднення та достатньо швидкого його збільшення до 20 м щороку. І будівництва бар'єрів чи прийняття інших управлінських рішень необхідно приймати якнайшвидше основуючись на спеціальних достовірних дослідженнях.

Необхідне прийняття остаточних управлінських рішень і проведення спеціальних робіт. Таким чином на територіях за межами цих об'єктів, що не потрапляють в зону постійного геоекологічного контролю необхідно проводити спеціальні геолого-геофізичні дослідження.

Саме спеціальні дослідження у наявних свердловинах (такі як міжсвердловинне прозвучування та вертикальне електрондування) для уточнення фізико-геологічних моделей розповсюдження забруднення необхідні для прийняття управлінських рішень, щодо подальшого обслуговування чи знешкодження сховищ відходів.

**Обґрунтування ефективного застосування геофізичного методу міжсвердловинного прозвучування на основі фізико-геологічного моделювання.** Проведення спеціальних геолого-геофізичних досліджень можливо на всій території сховища і за його межами. При проведенні сейсмозв'язних робіт для картування кордонів і властивостей забруднення рекомендується використовувати наступну схему. Для проведення робіт необхідна мережа свердловин, яка збереглася з попередніх робіт.

Застосування методу міжсвердловинного прозвучування (розташування джерел та прийомників) можливе на сховищах відходів у декількох варіантах. (рисунок 1)

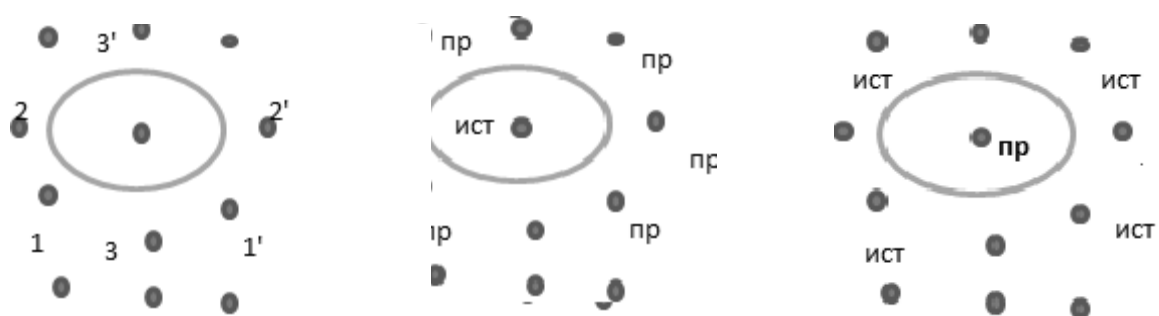


Рис. 1. Схема розташування джерел та прийомників у свердловинах поряд зі сховищем для міжсвердловинного прозвучування

Проводити дослідження на імпульсному сигналі, симетричним перенесенням джерел та приймачів сигналів з шагом 1 м, з частотою 200 Гц, з використанням електроіскрових випромінювачів типу «спаркер» з енергією 200 Дж при розташуванні свердловин на відстані 60 м [4]. Прийом коливань 24-канальною станцією. Розташування джерел та приймачів у свердловинах вбік або вниз від сховища вздовж балки може проводитися для визначення забруднення

в підземних водоносних горизонтах, визначення властивостей порід ВЧР 11 '. Інше розташування джерел і приймачів в свердловинах (модель поперек сховища) 22 ' 33 ' профіль розташований уздовж сховища і дозволяє зафіксувати як кордони сховища так і межі забруднення, що поширюється вздовж балки з підземними водоносними горизонтами. Відстань між свердловинами в різних варіантах від 30 до 60 м. Глибина розташування джерел і приймачів 30 м.

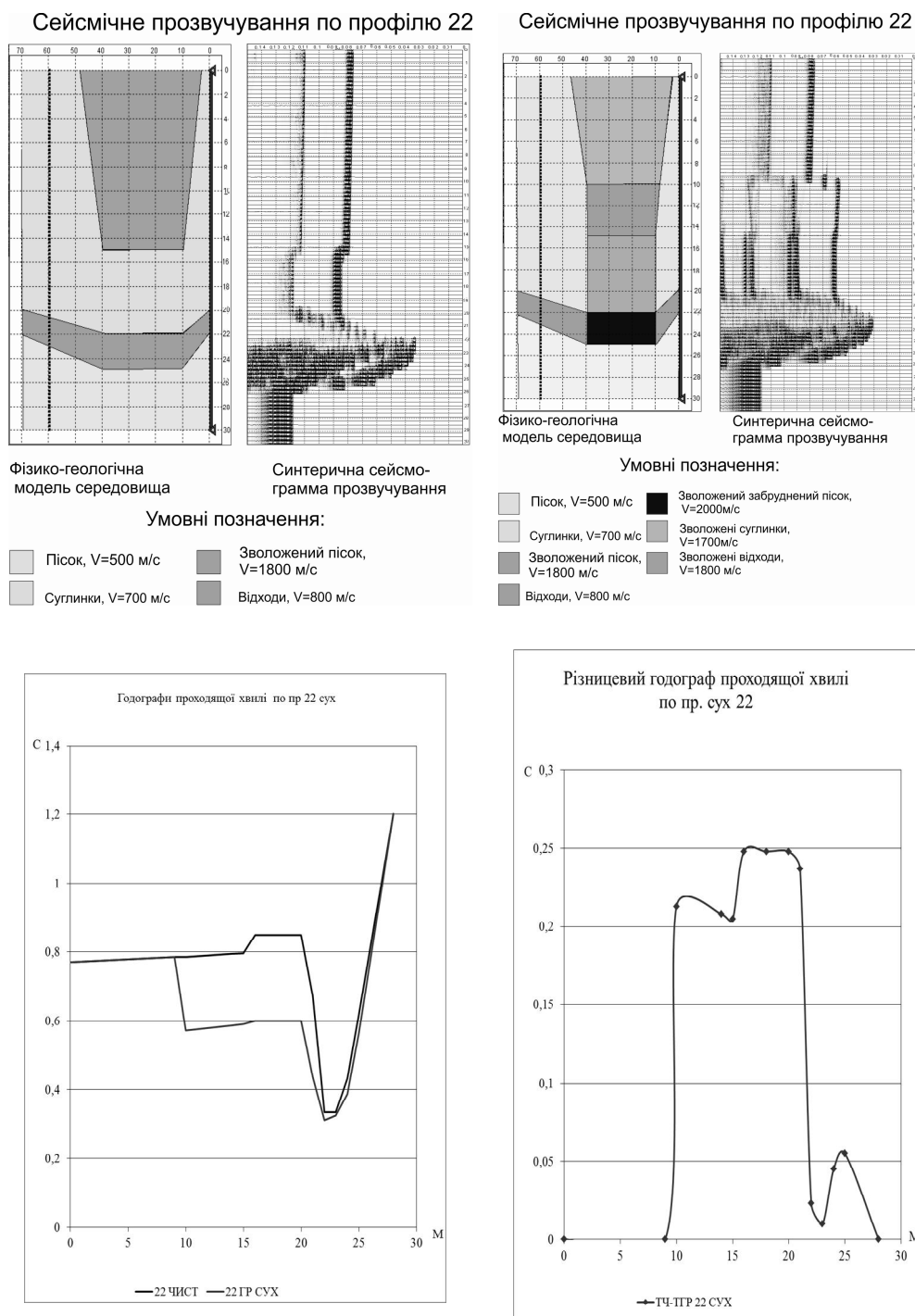


Рис. 2. Профіль поперек сховища: фонові ФГМ та сейсмограма проходять хвиль, ФГМ забруднюючого сховища та сейсмограма, годографи приходять хвиль; різницева годограф

По проаналізованим даним згідно паспортів сховищ та даних о геологічних розрізах ВЧР Дніпропетровської області встановлені середні значення продольної швидкості хвилі у геологічних фаціях вміщуючих порід верхньої частини розрізу. Фізико-геологічне моделювання у програму пакеті Tesserat. Розрахований аномальний ефект при використанні геофізичного методу (міжсвердловинного прозвучування) для дослідження ореолів розповсюдження забруднення від техногенних об'єктів.

На рисунку 2 представлені ФГМ та годографи проходящих хвиль (варіант профілю 22') у двох варіантах, коли сховище не впливає на вміщуючі породи (фонова модель) та негативно діє, змінюючи склад і властивості нижележащих порід ВЧР і водоносного горизонту. Далі представлені годографи перших вступів в обох варіантах і розрахований ефект (різницевий годограф), значення часу якого в аномальній ділянці сягає 0,01 с, що дозволяє зробити висновок про ефективність використання даного методу для картування ореолу забруднення. Для контролю за другим кордоном сховища необхідно поміняти місцями джерела і приймачі.

**Висновки.** Дослідження геоекологічного впливу великих техногенних об'єктів, створених у приповерхневій частині геологічного середовища проводиться у декілька етапів:

На основі аналізу існуючої інформації проводиться типізація техногенних об'єктів за основними характеристиками (розташування в геологічному середовищі, умови формування тощо), будуються апріорні геометричні моделі основних типів;

На основі попередніх досліджень (геологічних, геофізичних, гідрогеологічних та ін.) будуються фізико-геологічні моделі: фонова та аномальна. В спеціалізованих програмних пакетах (наприклад, Teseeral) розраховуються геофізичні поля для фонові та аномальної моделі;

Розраховується ефект від аномальної моделі і оцінюється можливість застосування геофізичного методу.

Наведений геофізичний метод (міжсвердловинне прозвучування) при вирішенні поставлених завдань детального дослідження геоекологічного впливу дає можливість виявити особливості розповсюдження забруднення для основних типів техногенних об'єктів, потенційні напрямки, можливу інтенсивність, глибину та розміри ореолу забруднень, зміну фізичних властивостей вміщуючих літологічних фацій.

Після виконання описаних етапів в роботі виявлено, що метод міжсвердловинного прозвучування буде достатньо інформативним та ефективним для підтвердження пропонуємих моделей та подальшого геоекологічного дослідження впливу техногенних об'єктів.

Для збільшення точності результатів рекомендується використовувати його у комплексі з іншими геофізичними методами, а також разом з відбором контрольних проб ґрунту і води з свердловин. Необхідне проведення моніторингових досліджень до повного обмеження впливу техногенного об'єкту на навколишнє природне середовище.

#### Список литературы

1. О.Г. Билашенко, П.И. Пигулевский, О.К. Тяпкин. Геометрические особенности физико-геологических моделей хранилищ отходов обогащения уранового сырья в Среднем Приднепровье // Науковий вісник НГУ. - 2012. – № 1. – С. 9-14.
2. Огильви А. А. Основы инженерной геофизики / А. А. Огильви. - М.:Недра,1990. - 468 с.
3. Скважинная и шахтная рудная геофизика: Справочник геофизика. В двух книгах/ Под ред. В.В.Бродового. Книга вторая. – М.: Недра, 1988. – 440 с.: ил.
4. Карус Е.В., Кузнецов О.Л., Файзуллин И.С. Межжскважинное прозвучивание. – М.: Недра, 1986.- 149 с.: ил

*Рекомендовано до публікації д.г-м.н. Нагорним Ю.М.  
Надійшла до редакції 14.11.13*

УДК 552.321

© Е.В.Сливная

### **ГЕНЕТИЧЕСКАЯ СВЯЗЬ ГРАНИТОВ И ПЕГМАТИТОВ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА**

В статье приведены результаты минералого-петрографического изучения гранитов и пегматитов восточной части Украинского щита. Полученные данные несут геолого-генетическую информацию, которая позволяет расчленить и установить вероятные процессы образования гранитоидов района, а именно - метаморфогенно-метасоматическое преобразование супракрустальных толщ, с широко и неоднократно развитыми процессами метаморфизма и гранитизации.

У статті наведені результати мінералого-петрографічного вивчення гранітів і пегматитів східної частини Українського щита. Отримані дані несуть геолого-генетичну інформацію, яка дозволяє розчленувати і встановити ймовірні процеси утворення гранітоїдів району, а саме - метаморфогенні-метасоматичні перетворення супракрустальних товщ, з широко і неодноразово розвиненими процесами метаморфізму і гранітизації.

The results of the mineralogical and petrographic study of granites and pegmatites of the eastern part of the Ukrainian shield. These data are geological and genetic information that can divide and establish probable processes of granitoid area - namely metamorphogenic-metasomatic transformation of supracrustal sequences, often with well-developed processes and metamorphism and granitization.

Украинский щит является наиболее изученной и перспективной геологической структурой страны. В металлогеническом отношении наиболее богатыми и перспективными являются докембрийские метаморфические, ультраметаморфические, магматические и метасоматические образования Украинского щита, с которыми тесно связаны разнообразные рудные формации. Изучаемая площадь – район сочленения Среднеприднепровского и Приазовского блоков УЩ – Орехово-Павлоградская структурно-формационная зона и Западное Приазовье – отличается очень сложным геологическим строением и является перспективной на ряд полезных ископаемых (железо, цветные, редкие и редкоземельные металлы, строительные и поделочные камни). Гранитоиды занимают до 70 % площади района, имеют пространственную и генетическую связь с



супракрустальными образованиями и расчленены на формационной основе. Они представлены днепропетровским, сурским, шевченковским и салтычанским докембрийскими гранитоидными комплексами и встречаются в виде останцов или отдельных массивов среди раннеархейских толщ западноприазовской и центрально-приазовской серий. Центральной проблемой района была и остается проблема выделения, корреляции, расчленения и рудоносности гранитоидов различного генезиса. В связи с этим, задача разработки более доступных и достаточно эффективных однозначных критериев выделения гранитоидов на этапе глубинного крупномасштабного картирования до сих пор остается актуальной. Для ее решения мы использовали минералого-геохимические критерии, которые позволяют объяснить ряд вопросов генезиса, геохимической специализации и оценки потенциальной рудоносности гранитоидных пород в условиях поисков глубокозалегающих месторождений, перекрытых мощными осадочными толщами [1].

В наших работах в качестве таких критериев выступают включения в кварце гранитоидных образований, т.к. находясь в "законсервированном" виде в минерале-хозяине, включения сохраняют признаки влияния геохимических особенностей минералообразующих сред полнее, чем минерал-хозяин, теряющий такие признаки при последующих изменениях породы.

В результате детального микроскопического изучения гранитоидов и пегматитов восточной части Украинского щита в кварце этих пород повсеместно устанавливаются характерные включения твердых веществ и летучих компонентов.

Анализ этих включений заключался в определении их типоморфных особенностей и закономерностях их распределения в кварцсодержащих породах.

Твердые минеральные включения представлены пироксеном, роговой обманкой, биотитом, апатитом, цирконом, рутилом, ильменитом, полевым шпатом, силлиманитом, монацитом, кварцем, пиритом. Флюидные включения представлены жидкими, газовыми разновидностями и их комбинациями. Состав твердых минеральных включений чаще всего зависит от первичного минерального состава материнских пород и от подвижности элементов в процессе химических реакций перекристаллизации.

В генетическом отношении все установленные включения подразделяются на протогенетические, сингенетические и эпигенетические образования [2]. Протогенетические включения – это реликты метаморфических минералов, являющиеся типоморфным признаком формирования кварца в твердой среде и указывающие на низкую агрессивность гранитизирующих флюидов. Сингенетические включения кварца отражают специфические условия его образования. Их содержание от гнейсов к пегматоидным гранитам уменьшается и четко коррелируется с наличием включений метаморфических минералов. Следовательно, минеральный состав метаморфических пород определяет состав сингенетических включений. Эпигенетические включения, в зависимости от агрегатного состава, подразделяются на твердые и флюидные разновидности. Твердые включения - это продукты распада твердого раствора. Флюидные включения

отличаются повсеместной приуроченностью к субмикроскопическим трещинам, указывающим на их эпигенетическую природу.

Установлено, что каждая выделенная группа включений в кварце гранитоидов несет определенную генетическую информацию о самом минераловладельце (кварце). Протогенетические включения метаморфических минералов отражают образование кварца в твердой среде за счет исходных метаморфических пород; сингенетические и эпигенетические - отражают геохимическую специализацию среды при кристаллизации кварца. Согласно своей генетической информативности, эти включения (прото-, син- и эпигенетические), подразделены на главные и второстепенные. К главным относятся сингенетические и эпигенетические включения (рутил, сфен, ильменит, силлиманит, сподумен, ильменорутит, монацит), отражающие геохимическую специализацию минералообразующей среды кварца, и характеризующиеся повсеместным присутствием и значительным количеством только в зернах кварца. Второстепенные включения являются сквозными для кварца и других пороодообразующих минералов всех изученных разновидностей пород и представлены твердыми (протогенетические) и флюидными (эпигенетические) разновидностями.

Таким образом, микроминеральные парагенезисы кварца гранитоидов указывают на то, что наличие той или иной ассоциации главных включений, отражающих геохимическую специализацию среды при кристаллизации кварца, может быть использовано в качестве критериев расчленения гранитоидных образований. Так, в зависимости от химического состава минеральных индивидов включений и их ассоциаций, изучаемые гранитоидные образования района работ расчленяются на пять групп [3], каждая из которых характеризуется определенной геохимической специализацией среды кварца, а именно: титанистой, алюминиево-титанистой, алюминиевой, алюминиево-литиевой и алюминиево-редкоземельной (рис.1).

В зависимости от минеральной принадлежности главных включений, гранитоиды с титанистой специализацией представлены гранитогнейсами, плагиогранитами, гранитами и, в меньшей мере, пегматитами днепропетровского, шевченковского и салтычанского комплексов. Повсеместное присутствие в кварце данных гранитоидных пород включений метаморфических (роговая обманка, биотит) и акцессорных (апатит, циркон) минералов свидетельствует о формировании кварца, а следовательно и гранитоидов, в твердом состоянии за счет метасоматического замещения исходных супракрустальных пород западноприазовской и центральноприазовской серий. Гранитоиды с алюминиево-титанистой специализацией кварца отнесены ко второй группе и представлены биотитовыми гранито-гнейсами и гранитами салтычанского комплекса и гранитогнейсами темрюкской свиты. Для этих пород характерен кварц, в котором установлены включения силлиманита, рутила и сфена. В значительных количествах в кварце наблюдаются и второстепенные включения – роговая обманка, биотит, апатит призматический, циркон двух генераций. Протогенетическая природа включений метаморфических и акцессорных минералов указывает на образование кварца за счет метаморфических пород.

Третья группа пород с алюминиевой специализацией кварца, включающая в себя гранито-гнейсы, граниты и пегматоидные граниты салтычанского комплекса, отличается наличием кварца с включениями sillimanita. Из акцессорных и метаморфических минералов присутствуют биотит, роговая обманка, апатит и циркон. Часто кварц не содержит включений темноцветных минералов, что объясняется существенно кислым кварц-полевошпатовым составом исходных супракрystalльных пород.

№	Специализация среды	Включения в кварце			Породы
		Главные	Второстепенные	Метаморфических минералов	
5	Алюминиево-редкоземельная	Силлиманит Монацит Ильменорутил	Апатит 3 Циркон	Биотит	Гнейсы Граниты
4	Алюминиево-литиевая	Силлиманит Сподумен	Циркон 1	Биотит	Граниты
3	Алюминиевая	Силлиманит	Апатит 2 Циркон 1	- Биотит Роговая обманка	Пегматиты Граниты Гнейсы
2	Алюминиево-титанистая	Силлиманит Рутил Сфен	Апатит 2 Циркон 1 Циркон 2	Биотит Роговая обманка	Пегматиты Граниты Гнейсы
1	Титанистая	Рутил Сфен	Апатит 3 Апатит 2 Циркон 1 Циркон 2	- Биотит Роговая обманка	Пегматиты Граниты Гнейсы
		Ильменит Рутил Сфен	Апатит 2 Апатит 3 Циркон 1 Циркон 2	- Биотит Роговая обманка	Пегматиты Граниты Гнейсы

Рис. 1. Расчленение гранитоидов восточной части УЩ (по специализации минералообразующей среды кварца)

К четвертой группе пород с алюминиево-литиевой специализацией принадлежат гранито-гнейсы и граниты салтычанского комплекса, для кварца которых характерны включения sillimanita и сподумена. Из второстепенных включений широко развиты биотит, роговая обманка, циркон первой генерации. Специализация син- и эпигенетических включений в кварце гранитоидов данной группы определяется составом исходных метаморфических пород. Так, например, в ксенолите амфиболового состава (обр. 305/337а) устанавливается

повышенное содержание Li ( $7 \cdot 10^{-5}$  %), а в кварце уже гранитизированной породы (обр. 305/337г) наблюдаются микровключения сподумена игольчатой формы. При формировании гранитоидов за счет амфиболитов с повышенным содержанием иттрия в кварце появляются включения иттротитанита.

В пятую группу с алюминиево-редкоземельной специализацией включены породы, кварц которых содержит включения силлиманита, ильменорутила, монацита. Они представлены биотитовыми гранитами и гранитогнейсами салтычанского комплекса.

Из полученных результатов четко видно, что главные включения являются критериями расчленения гранитоидных образований района, а второстепенные и включения метаморфических минералов указывают на образование этих пород за счет многократного метаморфического преобразования исходных супракристалльных толщ.

Такая же картина наблюдается и при изучении пегматитовых образований Западного Приазовья, а именно пегматитового месторождения Балка Большого Лагеря. В геологическом строении месторождения принимают участие докембрийские, четвертичные и современные отложения. Докембрийские образования представлены метаморфическими и магматическими породами. Метаморфические породы представлены диоритовыми и гранодиоритовыми мигматитами, амфиболитами, биотитовыми и амфибол-биотитовыми гнейсами и актинолитами архейского возраста. Магматические породы залегают среди вышеупомянутых пород в виде жил, представленные пегматитами, аплитами, полевым шпатом, кварцем и гранит-аплитами протерозойского возраста. Преобладающими среди метаморфических пород являются мигматиты диоритового состава, среди изверженных - пегматиты.

Пегматитовые жилы на месторождении «Балка Великого Лагеря» составлены преимущественно пегматитами неясно-графической (51,1 %) и графической (33 %) структуры. Меньшую роль играют пегматиты пегматоидной, зернистой и блочной (1,1 %) структуры.

В результате проведенных микроскопических исследований шлифов было установлено несколько петрографических разновидностей пегматитов. Первая разновидность представлена кварц-микроклиновыми графическими пегматитами с массивной текстурой и графической, пертитовой структурой. Минеральный состав колеблется в пределах: микроклин – 60–70 %, кварц – 25–35 %, плагиоклаз 0–5 %, мусковит 0–1 %. Вторая разновидность представлена двуполовошпатовыми неяснографическими пегматитами с массивной, иногда пятнистой текстурой и крупнокристаллической, графической, пертитовой структурой. Минеральный состав колеблется в пределах: микроклин – 20–60 %, кварц 5–50 %, плагиоклаз 30–35 %, мусковит –1 %..

С целью корреляции данных пегматитов с гранитоидами района работ проводилось изучение кварца в тонкополлированных пластинках. Необходимо отметить, что кварц пегматитов наблюдается в виде нескольких генераций: 1) ихтиоглипты кварца в решетчатом микроклине или микроклин-пертите; 2) монолитные крупнозернистые агрегаты кварца; 3) мелкозернистый кварц, в виде прожилков, заполняющий трещины в полевом шпате. Согласно классиче-

ским представлениям (по Ферсману) [4] о формировании пегматитов из остаточного магматического расплава, обогащенного летучими компонентами, наличие графических структур пегматитов – взаимопрорастание микроклина и кварца, свидетельствует об одновременном росте этих минералов на определенной стадии пегматитообразования. Поэтому, особое внимание уделялось изучению кварца первой генерации, как непосредственному «свидетелю» данного процесса. В результате в кварце ихтиоглиптов были установлены включения твердых веществ и летучих компонентов, характерные и для гранитоидов изученного района. Наличие твердых включений рутила, ильменита, биотита, полевых шпатов более ранней генерации и значительная насыщенность кварца флюидными углекислотными и водными включениями свидетельствует о формировании кварца, а следовательно и пегматитов, в твердом состоянии за счет метасоматического замещения исходных метаморфических пород западноприазовской и центральноприазовской серий. Это утверждение не противоречит одной из существующих гипотез о метаморфическом генезисе пегматитов, разработанной В.Н.Мораховским: метаморфогенные пегматиты формировались в регрессивные стадии высоких фаций регионального метаморфизма; не связаны с магматическими комплексами; развиваются в пределах гранитогнейсовых блоков древних кратонов и контролируются разрывными структурами зон протоктивизации.

**Вывод.** Таким образом, в результате анализа полученных результатов изучения гранитов и пегматитов, при исследовании кварца были установлены идентичные включения твердых веществ и летучих компонентов. Они однозначно свидетельствуют о формировании кварца, а значит гранитов и пегматитов, в твердой среде за счет метасоматического замещения и метаморфической перекристаллизации исходных пород – докембрийских гранитогнейсовых толщ восточной части Украинского щита, что подтверждает генетическую связь гранитов и пегматитов в пределах изученного района.

#### Список литературы.

1. Сливная Е.В., Баранов П.Н., Козловский Л.М. Типизация гранитоидов Украинского щита. Проблемы и пути решения//Актуальные проблемы геологии, географии, экологии. – Днепропетровск. –1999. –С.163-167.
2. Методические указания по использованию включений питающих и минералообразующих сред в геологической практике. Баранов П.Н. –Днепропетровск: ДГИ, 1991. - 56с.
3. Сливная Е.В. Расчленение гранитоидов зоны сочленения Среднеприднепровского и Приазовского блоков УЩ//Науковий вісник НГАУ, 2000. –№4. –С.44-46. Ферсман А. Е., Пегматиты, 3 изд., т. 1, М.— Л., 1940
4. Ферсман А.Е.Пегматиты. М.: Изд-во АН СССР, 1940. Т.1.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 25.11.13*

## INNOVATION APPROACHES IN SEISMIC MICROZONATION TAILING DUMP DESIGNING

Рассматриваются современные подходы оценки влияния локальных условий на сейсмическую опасность территорий. На примере хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов показано, что привлечение цифровых моделей среды и расчетных методов является важным элементом при прогнозировании влияния строения грунтовой толщи, ее физических свойств и антропогенного рельефа на усиление сейсмических колебаний грунта.

Розглядаються сучасні підходи оцінки впливу локальних умов на сейсмічну небезпеку території. На прикладі хвостосховищ гірничо-збагачувальних комбінатів показано, що залучення цифрових моделей середовища і розрахункових методів є важливим елементом при прогнозуванні впливу побудови грунтової товщі, її фізичних властивостей та антропогенного рельєфу на посилення сейсмічних коливань ґрунту.

Current approaches of assess the impact of local conditions on the seismic hazard areas are considered. On the example of ore-dressing and processing enterprises tailings is shown that engaging of digital environment models and calculation methods is an important element in predicting the effect of the structure of a ground layer, its physical properties and anthropogenic relief to seismic ground motion amplification.

**Introduction.** Mining and smelting complexes are the most important element in the economy of Ukraine. The ore-dressing generates huge quantity of gangues – tailings requiring storage. Tailing dumps of large ore-dressing and processing enterprises are especially important class structures, the destruction of which might have serious environmental and socio-economic consequences. One of the factors affecting safety of such enterprises functioning is strong seismic loads from earthquakes of tectonic and technologically-induced nature.

Tailing dumps are anthropogenic objects which fundamentally change engineering-geological environment and landscape areas. Anthropogenic changes in the geological environment associated with construction and operation of the tailing dumps significantly influence local seismicity changes.

Seismic microzonation of construction and operation tailing dumps sites is performed by quantitative assessment impact of local conditions onto the study of variations ground motion parameters from earthquake in seismic hazard zones. Firstly, influence of surface soils structure and properties composed anthropogenic low-velocity soils (tailings) and terrain features are investigated. Besides, variations of environment conditions associated with construction and operation of the tailing dumps should be taken into account in the future.

**Purpose** - approbation of modern approaches of assess the impact of local conditions on seismic effect amplification in ore-dressing and processing enterprises tailing dumps environment.

**Methods.** In the study of seismic microzonation of construction and operation of the tailing dumps sites the following questions are solved:

- the study of the structure and seismic properties of the surface soils;
- the construction of under analysis object seismological model;

- the estimation of structural features and seismic behavior of surface influence;
- the study of a medium geometry influence onto a seismic amplitude;
- the consideration of engineering-geological environment and landscape areas probable changes while building-up existing tailing dumps and further assessment of these changes influence on a seismic intensity increase.

The first two questions assume digital model creation of the main geological elements geometry of studied area and the study of the ground velocity-properties by field and borehole seismology methods.

Firstly, the information allows to estimate strengthening action of local conditions onto seismic loads. Similar surveys are based on average shear-wave velocity  $V_S^{30}$  in the upper 30 meters analysis [2]. Secondly, it is possible to create more complicated models to attract calculation methods to detail obtained amplification parameters.

The calculation methods application is necessary for consideration engineering-geological environment and landscape areas changes influencing seismic intensity increase. This fact is actual in construction and operation of the tailing dumps (the huge anthropogenic objects) later greatly influence onto changes of local seismological area descriptions. The first stage of computer simulation technique of transformation earthquake shaking process at the expense of structural features and seismic properties of ground surface is choice both medium model and input seismic load model (accelerograms for conversion). A number of assumptions simplifying both model and calculation taking into account the most important object parameters are used.

In this study calculations are made as follows:

1. One-dimensional horizontally layered soil deposits models are used for estimating the effect of low-velocity sedimentary rocks mass. This is acceptable in parallel layered sedimentary boundaries.
2. More complicated – two-dimensional models are used for evaluating the effect of anthropogenic topography which is determined by construction and operation of the tailing dumps.

The assessment of sedimentary rock impact onto seismic signal transformation is made by accelerogram recalculation from “firm rock” (basement) up to day surface. The calculations are made by computer program SHAKE [3]. The program computes the response in a horizontally layered soil rock system subjected to transient, vertical traveling shear waves. The method is based on Kanai's solution of the wave equation and the Fast Fourier Transform algorithm. While computing medium transfer function is defined when plane shear-wave falls off on horizontally layered soil deposits. The ground motion spectrum on the surface is calculated by multiplication seismic wave spectrum coming from “firm rock” onto corresponding transfer function.

One-dimensional model geometrical parameters are set on the digital seismic model base of the object.

To obtain the better accuracy of calculated data the calculations are made with different frequency content of accelerograms.

The decision is based on inelastic and nonlinear behaviors of soils.

The use of horizontal-layered (one-dimensional) models makes it impossible to estimate influence of anthropogenic topography onto transformation of seismic transients.

To estimate the effect of anthropogenic topography onto seismic intensity increase Tesserall-2D software was used. Referred program lets make full-wave modeling in heterogeneous medium for the elastic wave equation [<http://www.tesserall-geo.com>].

Modeling possibility of factors depending on difficult surface conditions including severe topography is the most important characteristic of Tesserall-2D.

**Results and conclusions.** In this study it is demonstrated that it is possible to use the latter approach in the terms of construction and operation of the tailing dumps sites in Krivoy Rog (Ukraine). The latter having big amount of mining and smelting enterprises is one of the biggest iron ore mining areas in the world.

So, building-up existing and new tailing dumps construction is proved to be urgent and highly necessary in these terms.

Influence assessment of low-velocity anthropogenic soils onto ground motions amplification was considered with the one example of construction site. Influence of both existing anthropogenic mass and its change during building process has been studied.

Based on geological and topographic data a digital model of the main geological elements of the studied area has been built. Some elements of the model are presented on fig.1.

Velocity behavior of soil was estimate by refracted wave method results.

It was obtained dependence between shear-wave velocity  $V_S^{30}$  in the upper 30 meters and anthropogenic soils thickness. Based on the model of anthropogenic soils thickness were calculated  $V_S^{30}$  (Fig.2).

Using the approach of [1] the amplification factors of short- and mid-period ground motions  $F_a$  (T=0.1-0.5 s) and  $F_v$  (T=0.4-2.0 s) were calculated, respectively (Fig.3).

Amplification was estimated relatively to nature surface soils with  $V_S^{30}_{ref}=450$  m/s. The results and forecast of medium changing influence during new tailing dump building was adjusted by calculation methods.

For the model of tailing dump (Fig.4) influence of anthropogenic soils thickness onto ground motions amplification of different frequency content by SHAKE program (Fig.5) was estimated. Results are close to assessments of  $V_S^{30}$  (Fig.3) however little bit higher. It is caused by resonance effects from bed top.

To evaluate the effect of anthropogenic topography propagation plane shear-wave modeling was made by Tesserall-2D in corresponding terms. Ricker impulse was taken as input. For the modeling wavelength was changed from 80 till 400 m because of potential earthquake shaking predominant periods and anthropogenic soils velocity characteristic. The ground motions amplification was calculated relatively to horizontal topography (Fig.7).

We see that resultant ground motions amplification might approach to 2 which is caused by anthropogenic low- velocity soils and anthropogenic topography. This fact is important for tailing dump design.



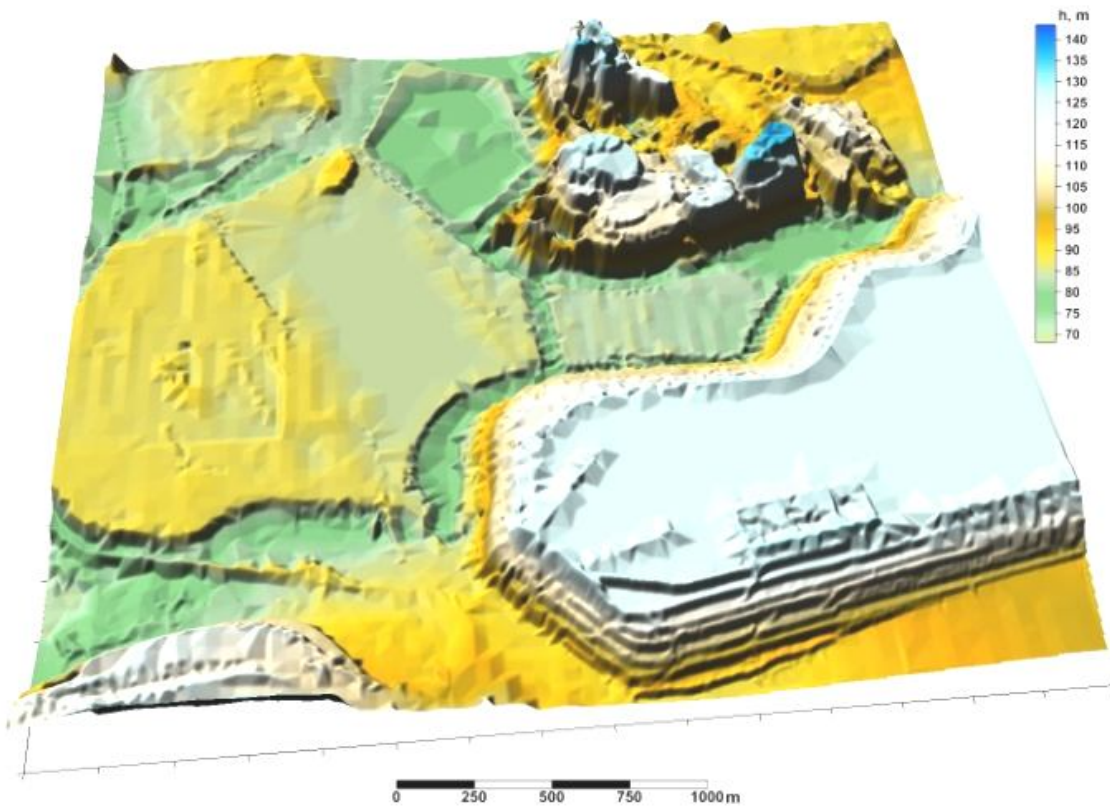


Fig. 1. The component of digital model of the main geological elements of the studied area (anthropogenic topography)

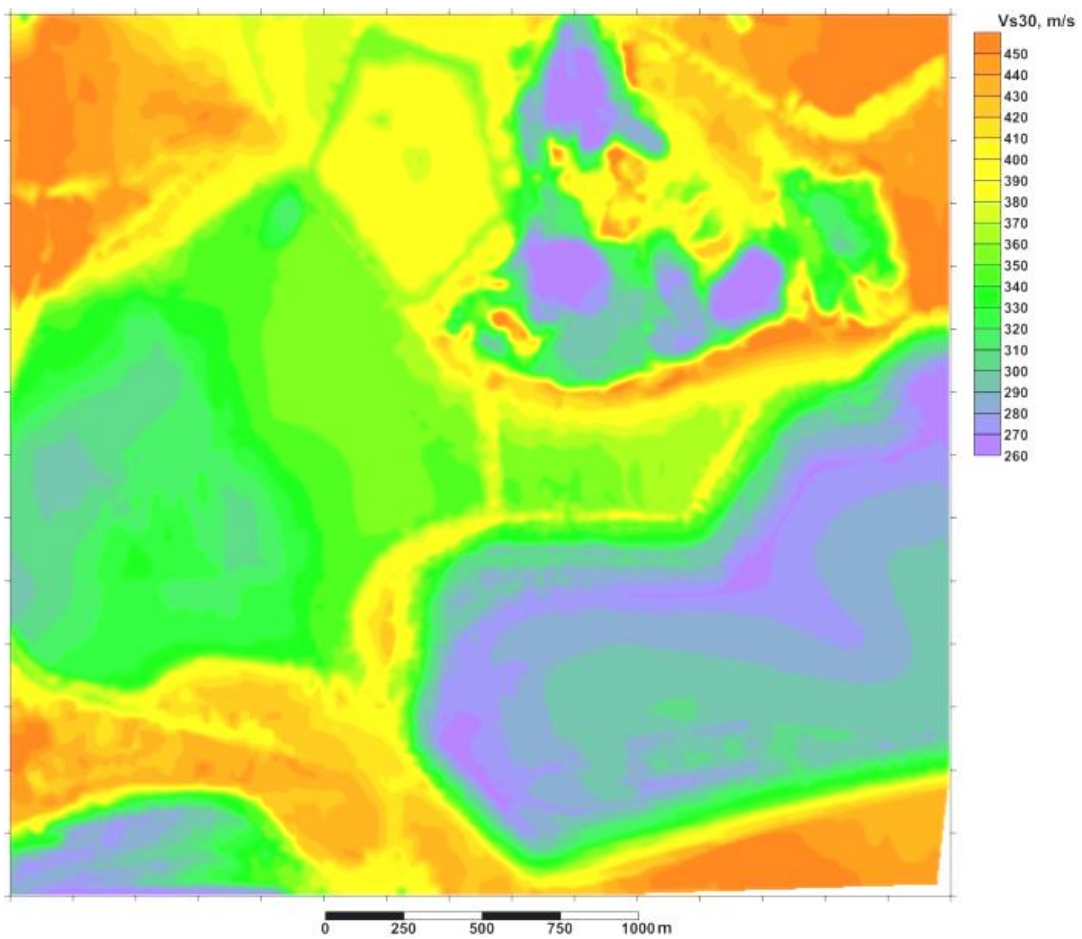
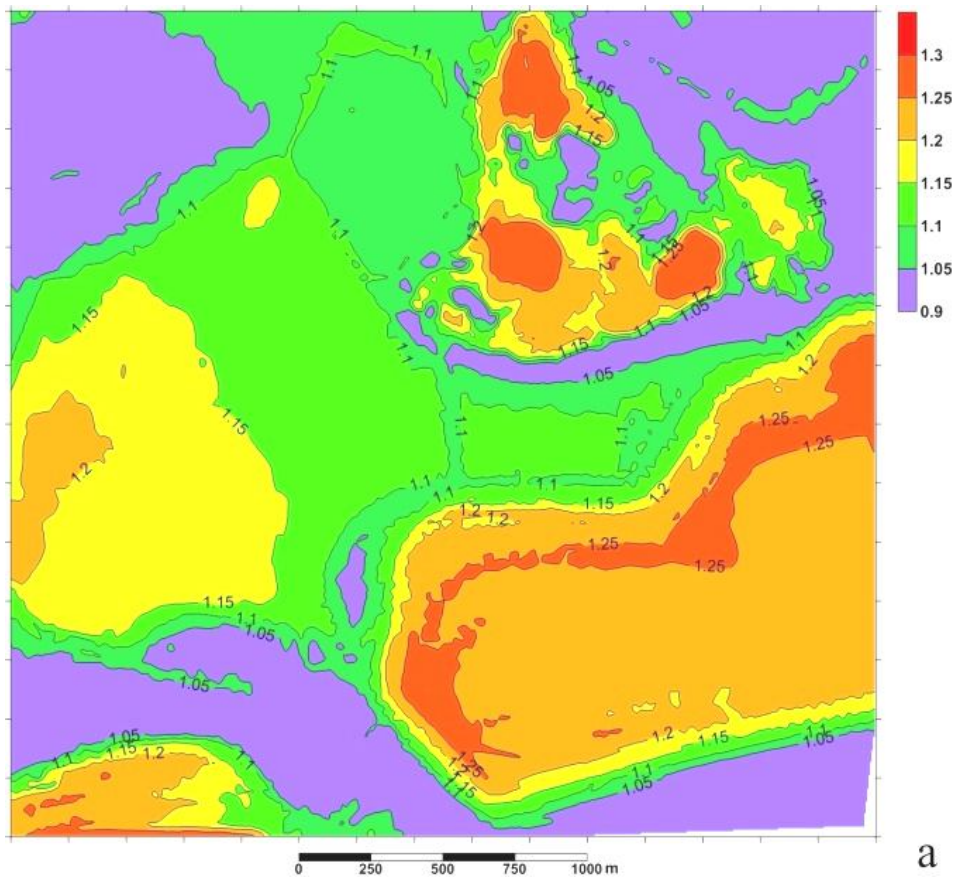
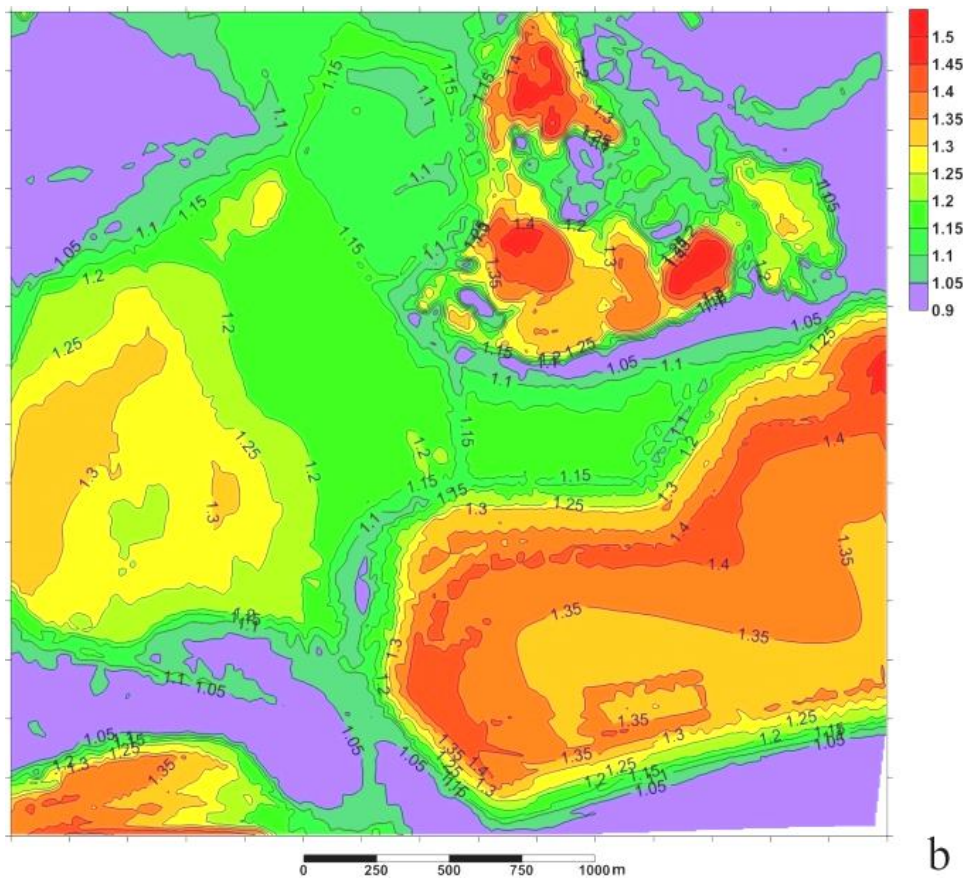


Fig. 2. The model of shear-wave velocity  $V_s^{30}$



a



b

Fig. 3. The model of amplification factors:  
 a – short- period ( $T=0.1-0.5$  s) ground motion; b – mid-period ( $T=0.4-2.0$  s) ground motion

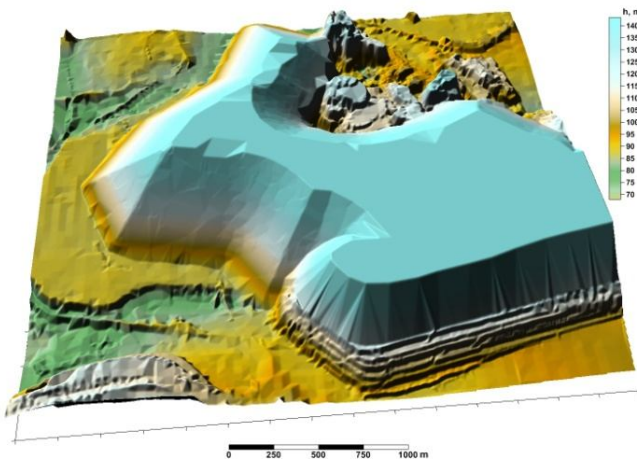


Fig. 4. The digital model of designed anthropogenic topography in the future

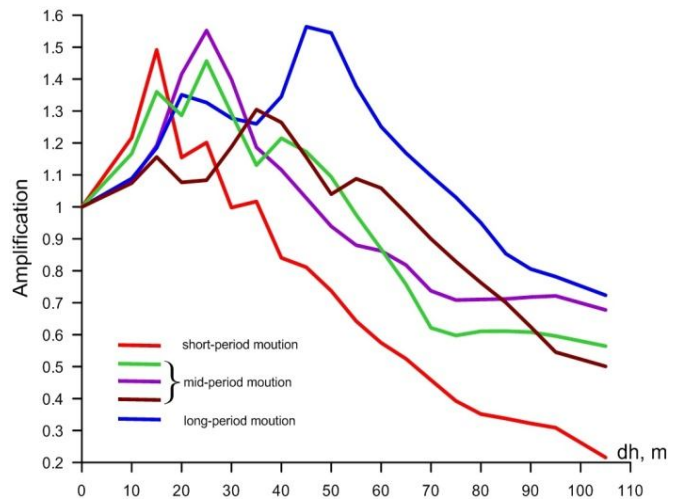


Fig. 5. The dependence between anthropogenic soils thickness and ground motions amplification

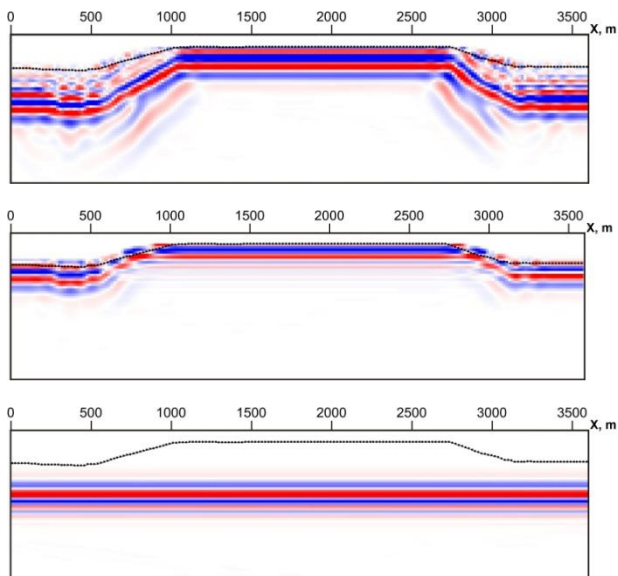


Fig. 6. The process of plane shear-wave propagation in anthropogenic topography

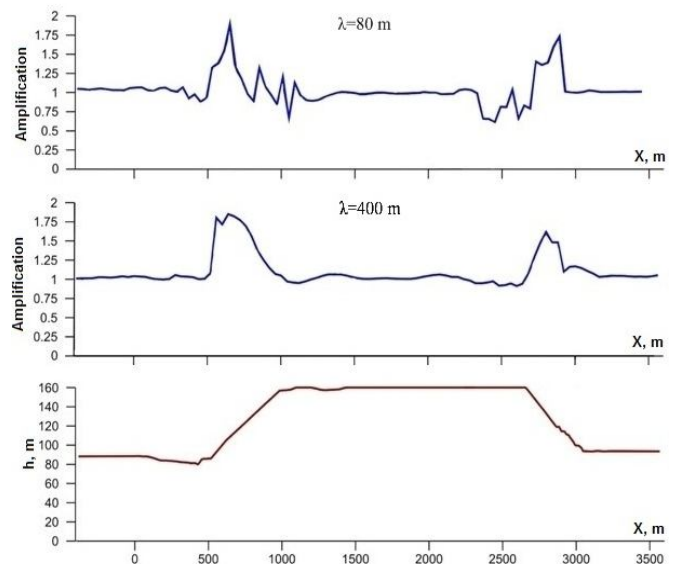


Fig. 7. The ground motions amplification in anthropogenic topography terms

#### References

1. Borchardt R.D. Estimates of site-dependent response spectra for design (methodology and justification)// *Earthquake Spectra*.-1994.-№10.-P.617–654.
2. NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, 2000 Edition, Part 1// Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report FEMA 386), Washington, D.C., 2001.-374p.
3. Schnabel P.B., Lysmer J. and Seed H.B. SHAKE: a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites// *Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, 1972.-№UCB/EERC-72/12.-102 p.*

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Тяпкіним К.Ф.  
Надійшла до редакції 18.11.13*

## К СТРАТИГРАФИИ ПРИАЗОВСКОЙ ЧАСТИ УКРАИНСКОГО ЩИТА. ГУЛЯЙПОЛЬСКАЯ ПОДЗОНА

Детально рассмотрено внутреннее строение пачек пород в подсветах гуляйпольской свиты и установлены взаимоотношения свиты с нижележащими образованиями для сопоставления геологического разреза с таковым в Белоцерковско-Сорокинской зоне складчатости, в частности с осипенковской свитой.

Детально розглянута внутрішня будова пачок підсвіт гуляйпольської світи і встановлені взаємовідношення світи з утвореннями, що залягають нижче, для співставлення геологічного розрізу з таким у Білоцерківсько-Сорокінській зоні, зокрема з осипенківською світою.

The internal structure of the "Gulyay-Pole" suite's subsuite packages was considered in detail. Determination of the suite's correlation with the lower-laying formations for the comparison of the geologic sections with the one in the "Belaya Tserkov – Sorokin" folding zone in particular with the "Osipenkov" suite was revealed.

**Введение.** Обобщающими работами по изучению строения стратиграфических разрезов Приазовского мегаблока (ПМ) являются монография Щербак Н.П. с соавт. (1985, 1989), а по Гуляйпольскому блоку – исследования Переверзева С.И. с соавт. (1989). Согласно этим исследованиям в пределах ПМ в стратиграфическом разрезе выделяются западноприазовская серия архея, которая включает верхнетокмакскую, кайинкулакскую толщи; центральноприазовская серия нижнего протерозоя, куда входят темрюкская, сачкинская, гуляйпольская и осипенковская свиты.

Преобладающими на площади Гуляйпольского блока является тоналит-трондьемит-диорит-плагиигранитный комплекс. Среди него выделяются плагииграниты (2800 млн. лет по циркону), биотитовые плагиигнейсы (2900±30 млн. лет), порфириовидные микроклиновые граниты (2010 млн. лет).

**Постановка проблемы.** Изучение железорудных и других типов месторождений, рудных полей Приазовья показало, что на основании дифференциальной подвижности породообразующих и рудных компонентов выделяются такие характерные их группы:

- с интенсивным поздним наложенным изменением древних пород вплоть до зеленокаменных и отсутствием гранитизации;

- с наличием низкотемпературных изменений и реликтовой гранулитовой минеральной ассоциации в породах толщ, а также выраженной гранитизацией;

- с развитой минеральной ассоциацией гранулитового метаморфизма, проявлением гранитизации и высокотемпературного диафтореза раннего комплекса пород.

Отмеченные особенности затрудняют корреляцию разрезов в пределах месторождения, рудных полей и районов, становятся предметом дискуссии при отнесении толщ (пачек) к тому или иному временному уровню. При стратиграфическом расчленении докембрия Приазовья и Гуляйпольского блока остались в тени такие детали. Взаимоотношение толщ, фациальная изменчивость в стратиграфических подразделениях, последовательность геологических про-

цессов и изменения вещественного состава пород, слагающих геологические разрезы, в рудоконтролирующих структурах исходя из анализа более детальной геологической информации и корреляции разрезов, составленных по результатам предварительной и детальной разведок железорудных месторождений.

**Цель исследования** – детальное стратиграфическое расчленение гуляйпольской свиты и выяснение характера взаимоотношения ее с нижележащими толщами. При этом решались следующие задачи:

-установление вещественного состава пород и руд в геологическом разрезе и его изменения в трехмерном пространстве пачек, пластов;

-установление факторов обуславливающих анизотропию породного комплекса исходя из преобразований пород в процессе развития рудоконтролирующих структур (деформация, метаморфизм, гранитизация, метасоматоз).

Гуляйпольско-Приморская зона складчатости (рис. 1) расположена в западной части Западно-Приазовского района [1]. Ее границы определены разломами: Сорокинским на юго-западе, Куйбышевско-Гайчурским на северо-востоке. Западная (северо-западная) граница проходит по Оперяющей тектонической зоне, которая является ответвлением Западно-Приазовского разлома северо-восточного простирания, фиксируемая двуслюдяными гранитами. Эти разломы обособливают Новониколаевское гранито-гнейсовое поднятие (рис. 1). Юго-восточная часть зоны складчатости сопряжена с Центрально-Приазовской зоной складчатости (Сачкинская структура).

В составе Новониколаевского поднятия принимают участие биотитовые, двуслюдяные, амфибол-биотитовые плагиограниты и плагиомигматиты с «останцами» биотитовых гранат-биотитовых, амфибол-биотитовых, амфиболовых, амфибол-пироксеновых гнейсов. В северо-западной его части выражены аплитовидные, аплит-пегматоидные, граниты и пегматиты.

Средняя часть складчатой зоны имеет сложное тектоническое строение. Здесь имеет место Конкский субширотный разлом, Гуляйпольско-Куйбышевский купол и дугообразные Корсакский и Черниговский разломы, а также локальные разломы северо-восточного простирания (рис. 1). Отмеченное в целом вызывает обособление двух подзон – Гуляйпольской и Белоцерковско-Сорокинской (рис. 2).

Характерной особенностью Гуляйпольского блока (подзоны ГЗС; рис. 2) является северо-западное простирание в нем разломов, пород и шарниров складчатых структур, что подчеркивает несогласие его с соседними структурами – Корсакской и Орехово-Павлоградской складчатыми зонами [1].

В составе Гуляйпольско-Куйбышевской купольной структуры выражен гранитоидный комплекс с участием тоналитов, плагиогранитов, диоритов, роговообманковых и других типов гранитов и мигматитов, останцовых тел ультрабазитов, базитов. Возраст плагиогранитов 2800 млн. лет, микроклиновых гранитов – 2010 млн. лет.

Плагиограниты в пределах нарушений северо-западного направления (Гуляйпольская синклиналь и др.) претерпели метасоматические преобразования.

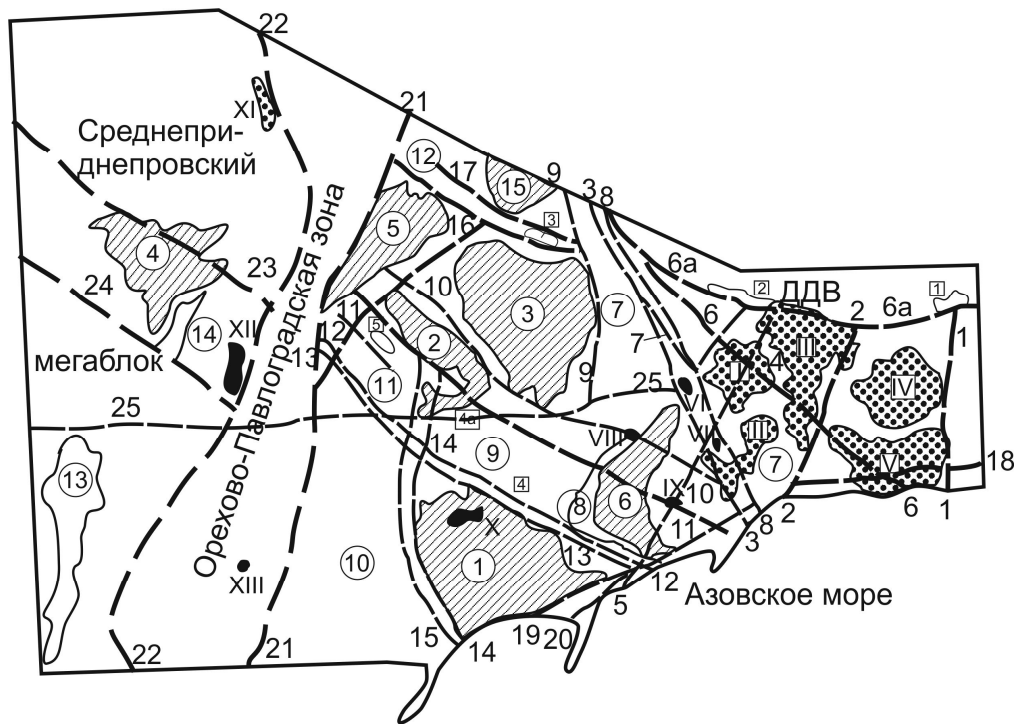


Рис. 1. Схема расположения главных структур Приазовского мегаблока Украинского щита: I. Разломы: 1 – Грузско-Еланчикский, 2 – Кальмиусский, 3 – Малоянисольский, 4 – Донской, 5 – Володарский (Ольгинский), 6 – Криворожско-Павловский, 6а – Южнодонбасский, 7 – Восточнопавловский, 8 – Степановский, 9 – Розовский, 10 – Каменномогильский, 11 – Куйбышевский, 12 – Николаевский, 13 – Сорокинский, 14 – Черниговский, 15 – Корсакский, 16 – Федоровский (Северный), 17 – Оперяющий, 18 – Хомутово-Ростовский, 19 – Бердянско-Мариупольский, 20 – Лозоватский, 21 – Западноприазовский, 22 – Орехово-Павлоградский, 23 – Днепродзержинский, 24 – Хортицкий, 25 – Конкско-Зачатьевский. II. Тектоно-метаморфические (цифры в кружках): а) гранито-гнейсовые раннего заложения и кратонизации: 1 – Салтычанский (Елисеевский), 2 – Гуляйпольско-Куйбышевский, 3 – Куйбышевско-Федоровская, 4 – Запорожский; 15 – Краевой; б) валлообразные структуры: 5 – Николаевская, 6 – Стародубовская (эндербит-плагиогранитная); в) зоны завершённой складчатости: 7 – Центральноприазовская, 8 – Сачкинская, 9 – Белоцерковско-Сорокинская, 10 – Корсакская, 11 – Гуляйпольская, 12 – Северная (Волчанский выступ), 13 – Белозерская (включая Переверзевский район), 14 – Конкская. III. Грабенообразные структуры (цифры в квадратах): 1 – Покрово-Киреевская, 2 – Волновахская вулcano-осадочная депрессия, 3 – Федоровско-Шевченковская, 4 – Сорокинская, 4а – Куйбышевская. 5 – Гуляйпольская, Конско-Ялынская впадина – занимает территории. Ограниченную Западноприазовским (на западе), Конско-Зачатьевским (юг) и Восточнопавловским (восток). IV. Тектоно-магматические позднего заложения (купольно-кольцевые и купольные): I – Октябрьская (Хлеבודаровско-Октябрьская), II – Южнокальчикская (Володарская и Кременевская), III – Кальмиусская, IV – Греково-Александровская, V – Тельмановская, VI – Екатериновская, VII – Малоянисольская, VIII – Каменномогильская, IX – Стародубовская (субщелочных гранитов), X – Салтычанская (сфен-ортитовых гранитов), XI – Терсянская, XII – Щербаковская раннего заложения (альбит-микроклиновые граниты), XIII – Богдановская.

Основной рудоконтролирующей структурой среди гранитоидной «рамы» является Гуляйпольская синклиналь (рис. 3) к которой приурочено одноименное месторождение железистых кварцитов. Эта структура представляет собой крупную брахиформную симметричную складку – «останец» среди гранит-мигматитовой «рамы». Вытянута она по азимуту 310-315°. Осевая плоскость

складки ориентирована вертикально, а крылья падают под углом 68-87°. Длина складки по осевой линии 9 км, а ширина до 3 км. Протяженность пласта железистых кварцитов 17 км. Замыкание складчатой структуры предполагается на глубине до 3-3,5 км. Строение крыльев выдержано по простиранию, но усложняется в юго-западном крыле более мелкими складками и разрывными нарушениями. Последние проявляются в северной и, особенно, южной частях месторождений. Ориентированы они в субширотном, северо-восточном, в меньшей степени субмеридиальном направлениях. Наиболее тектонически проработанной частью структуры является юго-западное крыло. Здесь выражены метасоматические изменения, как в гранитах, так и метаморфической толще (рис. 3) [2, 3, 4].

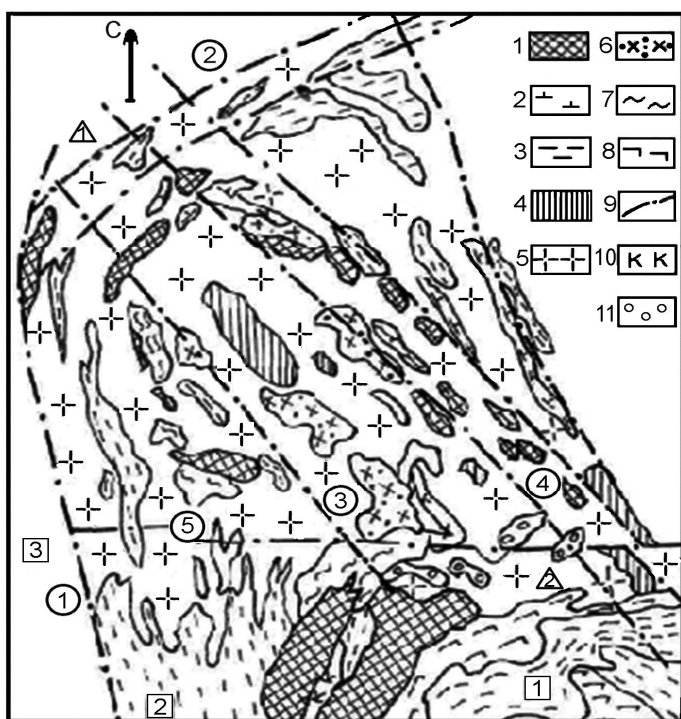


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Гуляйпольского блока: 1 – ультрабазит-базит- кристалловогнейсовая породная ассоциация с железорудным проявлением; 2 – метатолиты, метакоматииты; 3 – амфиболиты, биотитовые, амфибол-биотитовые, амфибол-пироксеновые, гранат- биотитовые гнейсы и кристаллосланцы; 4 – двуслюдяные, амфибол- биотитовые, глиноземистые сланцы, силициты, железистые кварциты, вулканиды среднего-основного состава, менее ультрабазиты; 5 – плагиограниты (плагиомигматиты), плагиогнейсы с реликтами и останцами пород 1, 2 (палингенно- метасоматическая породная ассоциация); 6 – тоналиты- трондьемиты, диориты, гранодиориты, кварцевые диориты; 7 – биотитовые, биотит- амфиболовые, амфибол- биотитовые мигматиты; 8

– глиноземистые гнейсы (сланцы) Белоцерковско- Сорокинской складчатой зоны; 9 – разломы (цифры в кружках): 1 – Западноприазовский; 2 – Оперяющий; 3 – Сорокинский; 4 – Куйбышевский; 5 – Конкско-Зачатьевский; 10 – Карбонатитовый комплекс; 11 – габбро, перидотиты, пироксениты, серпентиниты. Зоны завершённой складчатости (цифры в квадратах): 1 – Белоцерковско-Сорокинская; 2 – Корсакская; 3 – Орехово-Павлоградская. Поднятия (цифры в треугольнике): 1 – Новониколаевское; 2 – Гуляйпольско-Куйбышевское.

Строение метаморфической толщи Гуляйпольского месторождения. Метаморфические образования Гуляйпольской структуры включают два комплекса пород. Первый из них (нижний) слагает ее бортовую часть или "раму" и характеризуется выраженностью в нем гранитообразования, второй (верхний, или гуляйпольская свита) – образует ядро этой структуры и лишен гранитоидных пород (рис. 3). Для первого из них присущи метагаббро-перидотиты, метабазиты (основные кристаллосланцы, амфиболиты), серпентинизированные, амфиболлизированные перидотиты, биотит- кварцевые и биотит-плагиоклаз- кварцевые, биотит амфиболовые гнейсы и мигматиты переменного минерального состава, тоналиты, диориты, плагиограниты.

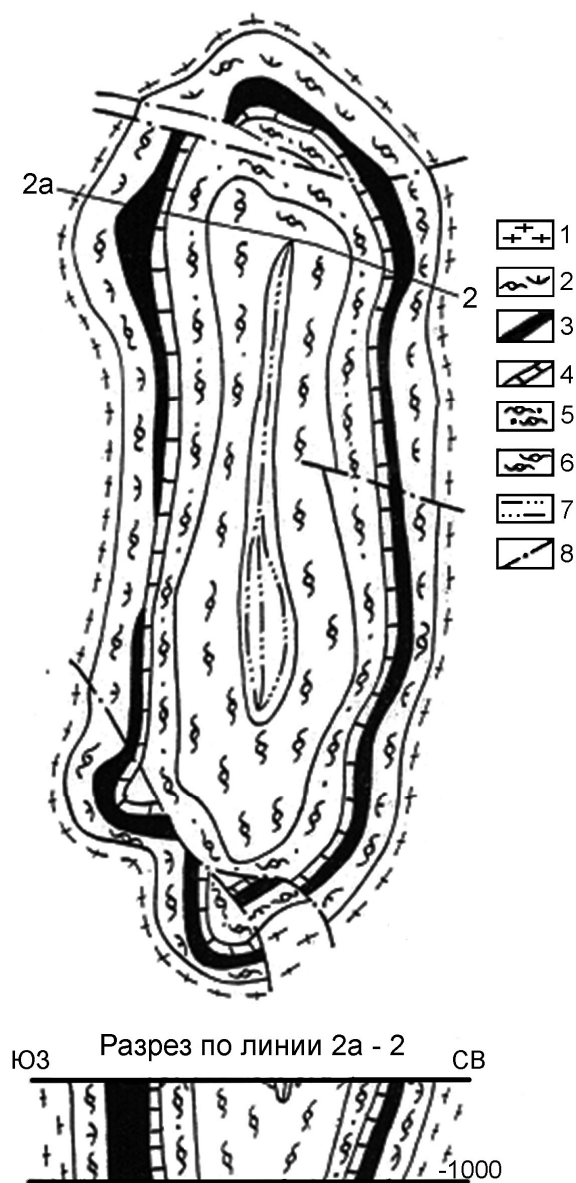


Рис. 3. Схематическая карта

Гуляйпольского месторождения

1 – породы пачки двуслюдяных гнейсов; 2 – породы мусковит-сланцевой пачки; 3 – породы железорудной пачки; 4 – породы переходной пачки; 5 – породы гранатитовой пачки; 6 – породы биотит-сланцевой пачки; 7 – породы туфопесчаниковой пачки; 8 – разломы

Основными разностями пород комплекса являются: плагиограниты, плагиогранитовые мигматиты, альбитизированные и микроклинизированные плагиограниты, альбититы, микроклиниты, биотититы. Вместе с ними прослеживаются биотит-роговообманковые, кварц-биотит плагиоклазовые, мусковит-биотит-плагиоклазовые, мусковит-биотит роговообманковые гнейсы, амфиболиты. Меньшим распространением пользуются алюмокварциты, мусковитовые и биотит-мусковитовые (двуслюдяные) сланцы (рис. 5-7).

В составе пород первого комплекса (кристаллосланцы- амфиболиты) выражены плагиоклаз, пироксены, роговая обманка. Для них в целом характерны мигматитовая композиционная полосчатость. С увеличением количества роговой обманки и биотита в породах возрастает сланцевато-гнейсовый их облик. Массивные разности сходны с габбро-норитами, норитами. В зависимости от главных минералов, среди этих пород можно выделить двухпироксеновые, клинопироксеновые, амфибол-двухпироксеновые. Диафорические изменения вызывают пиритизацию (10% сульфидов), окварцевание, актинолитизацию, хлоритизацию, микроклинизацию, альбитизацию. Изменения щелочной направленности выражены в основании разреза относимого к гуляйпольской свите и ее пределах (рис. 4).

Гнейсо-мигматитовый комплекс амфибол-биотитового состава отличается широкой гаммой пород и количеством породообразующих минералов, в частности, плагиоклаза и микроклина (олигоклаз – 5-30%, микроклин – 10-35%, кварц – 10-20%, биотит – 5-25%, роговая обманка – 0-10% + гранат, сфен, магнетит, апатит, эпидот, кальцит). Характеристика минералов нами рассмотрена в [5].



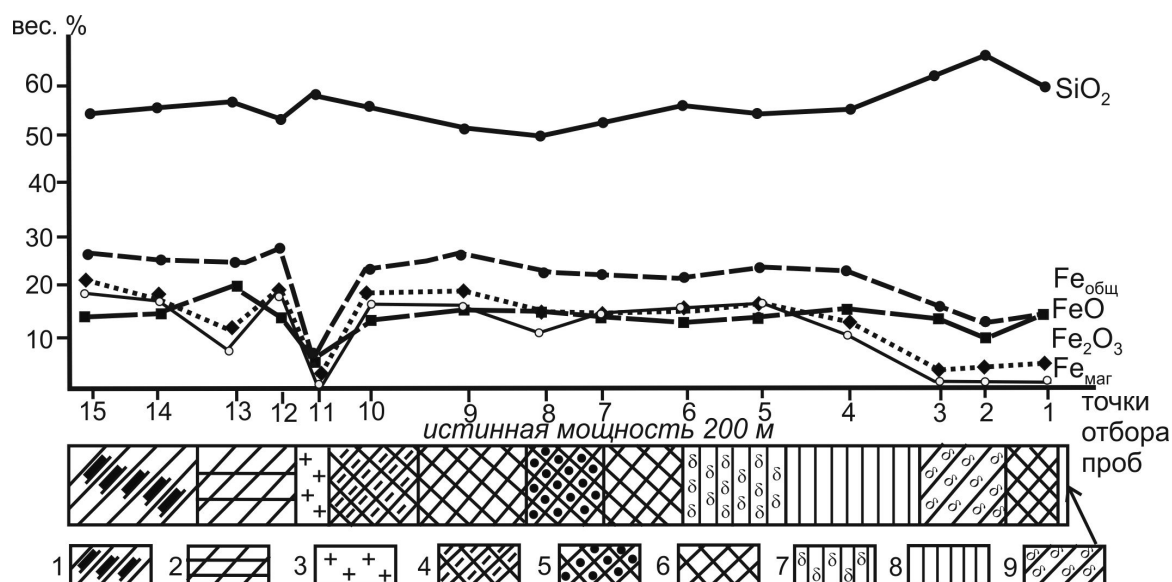


Рис. 4. Поведение компонентов руд по профилю 5а (мощности рудного пласта) примыкающего к альбитизированным, микроклинизированным гранитам:

1 – амфиболовые кварциты безрудные; 2 – переслаивание куммингтонит-магнетитовых и рибекит магнетитовых кварцитов с редкими чешуйками тетраферрибиотита; 3 – вулканиты; 4 – рибекит- тетраферрибиотит-магнетитовые кварциты; 5 – переслаивание рибекит-магнетитовых кварцитов с редкими чешуйками тетраферрибиотита и тетраферрибиотитовых сланцев; 6 – рибекит-магнетитовые сланцы ( $Fe_{Mag} \approx 12\%$ ); 7 – биотит куммингтонит-магнетитовые кварциты с карбонатами; 8 – куммингтонит-биотит-магнетитовые кварциты; 9 – переслаивание метапесчанников микроклинизированных и кварц биотитовых сланцев с порфиробластами магнетита.

Особенности состава и строения пачки хорошо проявляются при сопоставлении геологических разрезов по северо-восточному и юго-западному крыльям синклинали (рис. 5-7). Граниты и метасоматические изменения в породах юго-западного крыла выражены ярко и распространены вдоль тектонической зоны (срыва) на границе отмеченных выше комплексов пород. Их фронт максимально приближен (до 50 м) к образованиям средней части гуляйпольской свиты (рис. 5) в районе профилей 5а, 3а, 2а+600 и южном центроклинальном замыкании. Здесь в основании разреза распространены все отмеченные выше разновидности пород гранитоидного ряда. Четких границ между ними установить не представилось возможным (шлифы через 2-3 м, непрерывное опробование, рис. 7).

В основной массе образований толщи преобладает лейкосома, а гнейсовая составляющая сохраняется в виде реликтовых участков или между полевошпатовыми обособлениями до 0,3 м. В целом это интенсивно катаклазированные, милонитизированные и трещиноватые породы. В катаклазированных их разновидностях преобладают плагиоклаз, кварц, а микроклин и альбит играют подчиненную роль. Последние широко развиты по трещинам, образуя метасоматические ореолы вдоль трещин или пятна в узлах пересечения трещин сколового типа или отдельные зоны. Исходный состав в переработанных породах прослеживается частично. В основном это "останцы" амфиболитов, ультраосновных пород, меланократовых гнейсов с амфиболом и биотитом в нижней части и двуслюдяных гнейсов, алюмокварцитов и глиноземистых сланцев в верхней части (рис. 5, 6).

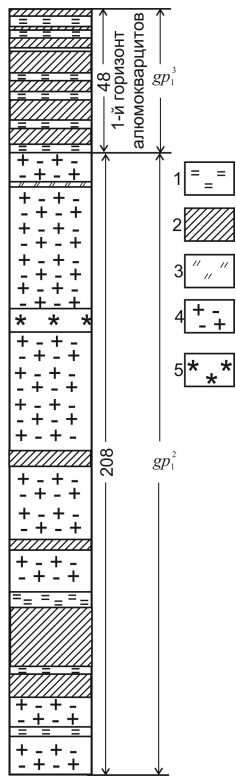


Рис. 5. Деталь строения амфиболит-гнейсовой пачки и пачки двуслюдяных гнейсов. М 1:2000. Северо-восточного крыла синклинали: 1 – кварц-мусковитовые (кварц-биотит-мусковитовые) сланцы; 2 – алюмокварциты; 3 – амфиболиты; 4 – плагиогнейсы, плагиограниты, мигматиты и др.; 5 – гнейсы обогащенные магнетитом.

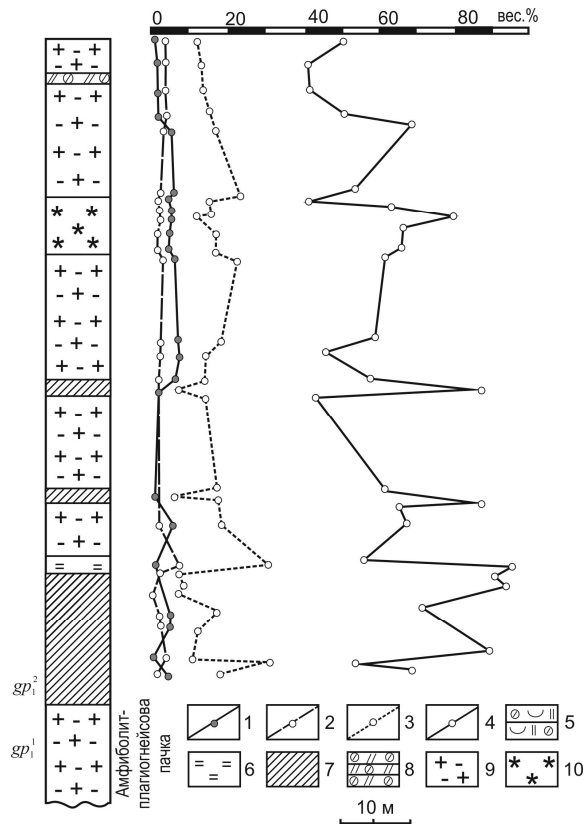


Рис. 6. Характер изменения порообразующих окислов в амфиболит-гнейсовой пачке северо-восточного крыла Гуляйпольской синклинали: 1-4 вариации содержания окисей по направлению истинной мощности пачки: 1 – Na, 2 – K, 3 – Al, 4 – Si; 5-10 – породы: кварц-гранат-биотитовые сланцы – маркирующий горизонт (5), кварц-мусковитовые сланцы (6), в т.ч. с андалузитом, кианитом, биотитом, ставролитом; алюмокварциты (7); амфиболиты (8); биотит-полевошпатовообманковые гнейсы в различной степени мигматизированные, переходящие вверх по разрезу в двуслюдяные гнейсы одноименной пачки (9); биотит-полевошпатовообманковые гнейсы с магнетитом (10).

В северо-восточном крыле (рис. 5) фронт гранитизации несколько удален и в низах разреза прослеживается амфиболит-плагиогнейсовая пачка мало измененных гнейсов (вскрытая мощность более 150 м). В верхней ее части достоверно картируются прослои кварцитов (до 20 м), глиноземистых сланцев 3-15 м, амфиболиты мощностью 3-8 м (пачки двуслюдяных гнейсов). Гнейсовые образования представлены биотит-роговообманковыми, кварц-плагиоклаз-биотитовыми разновидностями с магнетитом и без него. Текстура их полосчатая, сланцевая, окраска темно-серая до черной. Осветление и изменение текстурного рисунка пород наблюдается на участках развития изометричных, овальных, линзовидных выделений полевых шпатов и кварца (до 2-3 см). При широком развитии лейкократовых выделений биотит выступает в роли "цемента", подчеркивая очертания выделений.

В дальнейшем рассмотренный разрез переходит в негранитизированную толщу, где отчетливо картируется мусковит-сланцевая пачка (рис. 8, 9). В ее основании развит первый горизонт алюмокварцитов (метапесчаников), мощностью от 40 до 80 м.

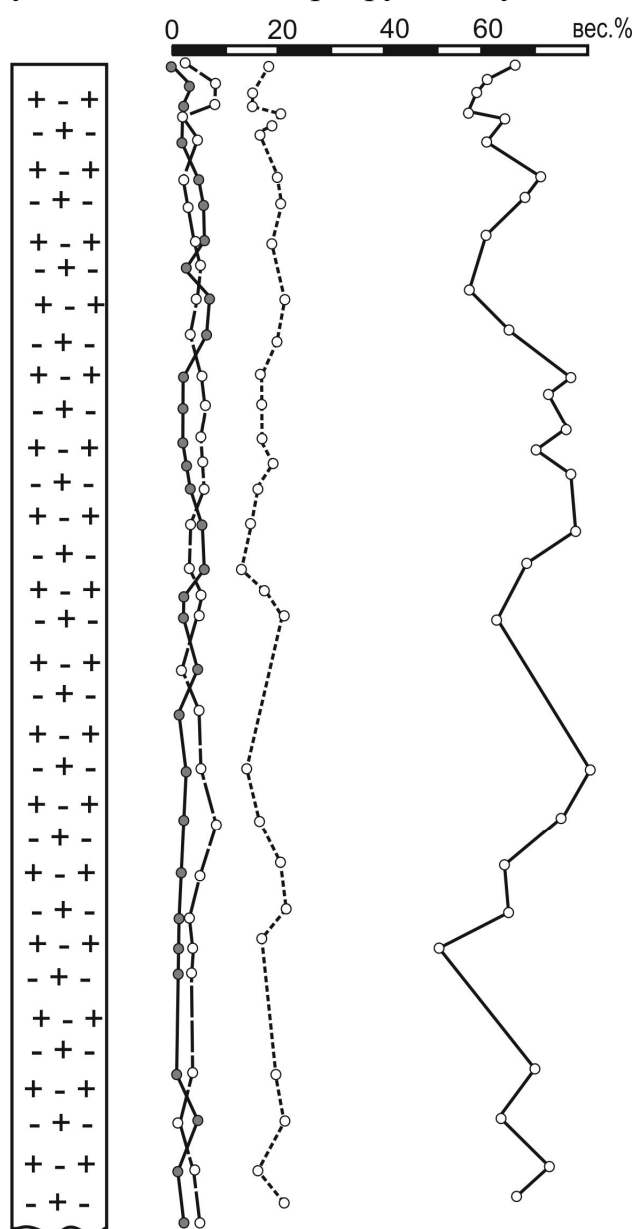


Рис. 7. Характер изменения породообразующих окислов в амфиболит-плагиогнейсовой пачке юго-западного крыла Гуляйпольской синклинали структуры.

Усл. об. см. рис. 5,6.

первых метров до 60 м.

Выше по разрезу залегает второй глиноземистый горизонт (2S) мощностью от первых метров до 60 м. По составу, строению аналогичны первому глиноземистому горизонту (1S). Вместе с этим в центральной и северо-западной части юго-западного крыла складки в составе сланцев появляется слои обогащенные ставролитом с хорошей кристаллографической огранкой.

Внутри горизонта содержатся прослой мусковитовых сланцев мощностью от первых сантиметров до 2-3 м. Количество и частота чередования кварцитов и сланцев увеличивается к кровле горизонта, особенно на контакте с вышележащими глиноземистыми сланцами. Мощность такого перехода составляет 2-12 м, а соотношение сланцев и алюмокварцитов здесь 1:1. Отмеченное послужило выделением этого горизонта в мусковит-сланцевую пачку.

В местах, где в породах прослеживается повышенное содержание натрия, встречаются мусковиты, обогащенные данным компонентом (окись натрия до 1,17%). В связи с этим не исключена возможность обнаружения в подобных зонах парагонита. На описанном горизонте, согласно через зону чередования алюмокварцитов и сланцев, залегает второй горизонт алюмокварцитов. Его мощность лежит в пределах от

первых метров до 60 м.

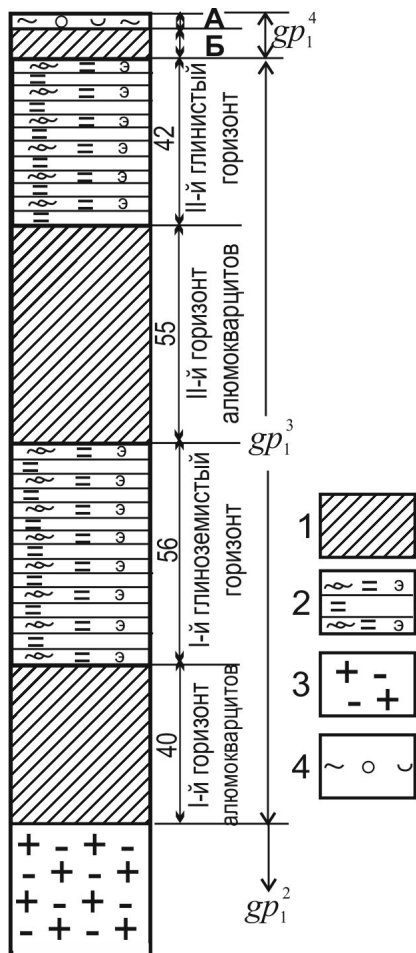


Рис. 8. Деталь строения мусковит-сланцевой пачки. М 1:2000 А – III-й глиноземистый горизонт (маркирующий); Б – III-й горизонт алюмокварцитов; 1 – алюмокварциты; 2 – глиноземистые сланцы; 3 – плагиогнейсы, плагиограниты, мигматиты; 4 – кварц-гранат-биотитовые сланцы (маркирующий горизонт).

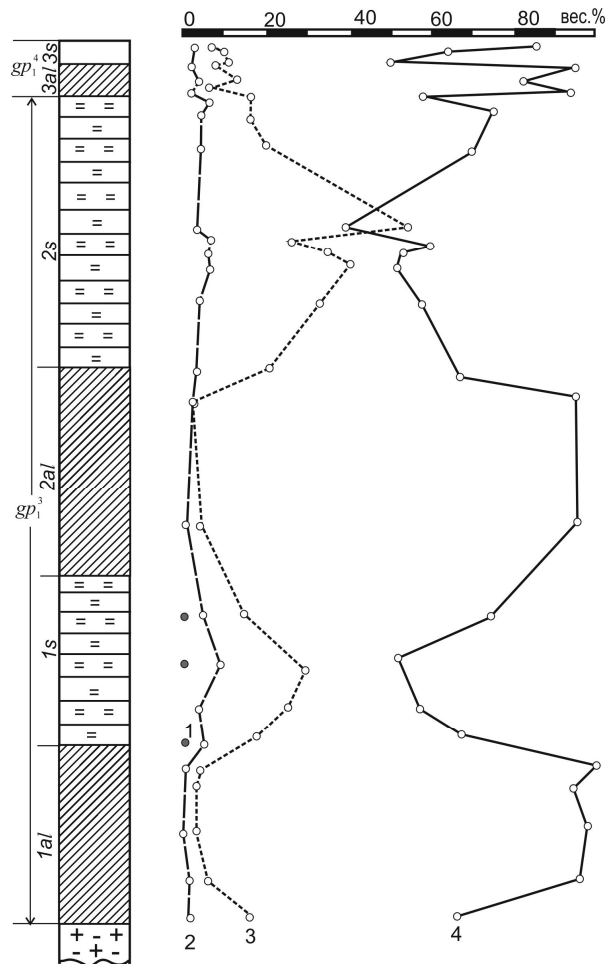


Рис. 9. Характер изменения породообразующих окислов мусковит-сланцевой пачки гуляйпольской свиты и изменение главных породообразующих окислов в ней

Горизонты: 1al; 2al; 3al – соответственно первый, второй и третий горизонты алюмокварцитов; 1s, 2s, 3s – соответственно первый, второй и третий сланцевый горизонты. Другие обозначения см. рис. 7

Горизонт 2S перекрыт алюмокварцитами (горизонт 3al), который венчает пачку чередования глиноземистых (высокоглиноземистых) и кварцевых пород. Мощность горизонта 3–30 м.

В северо-западной части, на границе третьего горизонта алюмокварцитов и второго глиноземистого горизонта встречаются биотититы с единичными зернами граната (биотит в породе имеет шестигранные призмы до 1,5-2 см, количество до 95%). Наряду с ними развиты гранат-куммингтонитовые породы (соотношение граната и куммингтонита 1:1). Отмеченные породы мы относим к метасоматическим образованиям по ультраосновным вулканитам.

Завершает разрез мусковит-сланцевой пачки выдержанная кварцитосланцевая пачка или маркирующий "горизонт" (3al, рис. 9), представленная кварц-гранат-биотитовыми (хлоритовыми) сланцами и кварцитами. Количество гра-

ната в первых достигает 30 %. Мощность "горизонта" изменчива и колеблется от первых десятков сантиметров до 30–40 м. Увеличение мощности сопровождается повышением неоднородности, что выражено в тонком чередовании сланцев и кварцитов. Следует добавить, что маркирующий горизонт сопряжен с телами грубо рассланцованных, массивных, пятнистых (за счет гнезд биотита) вулканитов (базитов).

Железорудная пачка (рис. 10) или средняя подсвета, залегает на нижней подсвете согласно. Породы рассматриваемой подсветы, отличаются по внутреннему строению, текстурно-структурным признакам, вещественному составу, содержанию рудных минералов и вторичными изменениями. Общая мощность подсветы, изменчива от первых метров на участках будинажа (профиль 5а-600) до 500 м. В ее строении четко выделяются две пачки пород: нижняя железорудная и переходная (малорудная, рис. 10, 11).

В нижней пачке хорошо картируются вулканиты и такие следующие разновидности сланцев: кварц-биотитовые, биотитовые, тетраферрибиотитовые, рибекитовые, грюнеритовые (грюнерититы) и куммингтонит-грюнеритовые.

Вулканиты описываемой пачки (рис. 10) содержат обломки (амфиболитов) неправильной, угловатой формы, размером до 4 см. По внешнему облику породы массивные (сливного типа), пятнистые (при наличии обломков), темно-серого цвета. Аналогичные образования имеют место в верхней части пачки. Здесь мощность переслаивания их с железистыми кварцитами составляет 54 м. Мощность отдельных слоев железисто-кремнистых образований в пачке составляет 1–8 м, а вулканитов – 30–40 м.

Отличаются вулканиты от нижележащих более светлой окраской, обильными выделениями (до 20–30 %) таблитчатого биотита размером до 0,1×4 мм, иногда скопление его в виде шпиров (миндалин) овальной, линзовидной и неправильной формы размером до 2 см.

Центральная часть железорудной пачки обеднена вулканитами. Здесь встречаются маломощные их тела до 1,0–1,5 м, максимально до 4 м.

Помимо отмеченных особенностей строения пачки следует добавить наличие послойных и секущих зон калишпатизации, окварцевания и карбонатизации, кварц-карбонатных, карбонатных, кварцевых и кварц-полевошпатовых жил (пегматитов) от 0,1 до 5,0 м. В последних встречаются идеальные кристаллы микроклина в 2–3 см. Калишпатизация более четко проявлена в вулканитах.

Переходная пачка (рис. 11) выдержана по всему месторождению, хорошо картируется в керне и геофизическими методами (КМВ). Представлена она тонким чередованием микрокварцитов, кварц-биотитовых, биотитовых (иногда гранат-биотитовых) сланцев, кварц-биотит-магнетитовых прослоев, а также вулканитов. Мощность микрокварцитов – 0,3–50 см, кварц-биотитовых и биотитовых сланцев – от сантиметров до первых метров, вулканитов – от первых метров до 15–17 м. Общая мощность переходной пачки изменяется в пределах 5–90 м.

В целом пачка интенсивно смята, что выражено в будинировании прослоев микрокварцитов. Размер будин от 5×15 мм до 5×55 мм. Форма будин округлая, линзовидная, S-образная. Будины раздвинуты между собой на 0,4–15,0 см. Межбудинное пространство заполнено сланцами, струйчатыми полосами тон-

козернистого магнетита (обволакивающие всю будину), кварцем, карбонатом, биотитом и куммингтонитом. Несмотря на распространение в пачке магнетита промышленные концентрации он дает редко (несколько разведочных пересечений по месторождению).

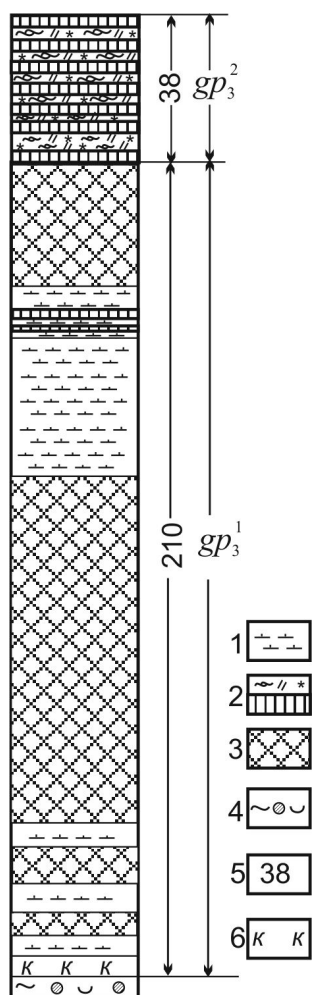


Рис. 10. Деталь строения железорудной и переходной пачек. М 1:2000: 1 – вулканиты; 2 – чередование кварц-биотитовых сланцев и микрокварцитов (переходная пачка); 3 – железистые кварциты; 4 – кварц-гранат-биотитовые сланцы (маркирующий горизонт); 5 – истинная мощность горизонтов; 6 – куммингтониты

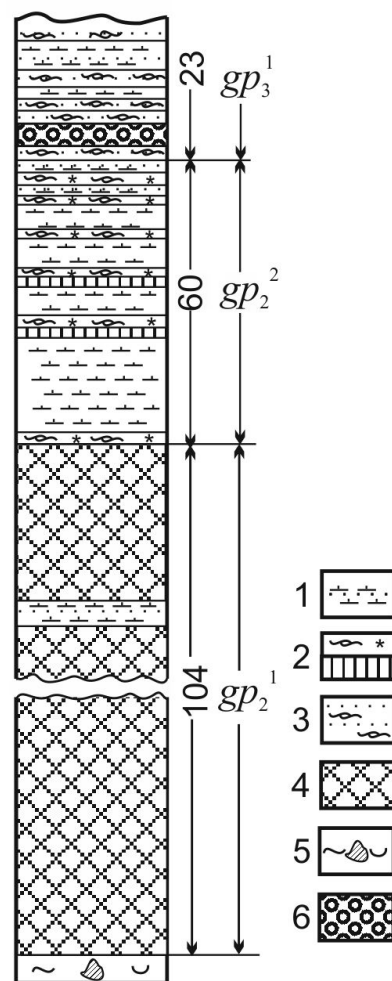


Рис. 11. Деталь строения переходной пачки. М 1:2000: 1 – вулканиты; 2 – чередование кварц-биотитовых сланцев и микрокварцитов; 3 – кварц-полевошпат-биотитовые сланцы; 4 – железистые кварциты; 5 – кварц-гранат-биотитовые сланцы; 6 – тектонические нарушения

Вулканиты данной пачки сходны с вулканитами железорудной пачки. Наложенные изменения устанавливаются по наличию калишпатизации пород, кварц-калишпатовых жил, карбонатизации, окварцевания.

Верхняя часть разреза или верхняя подсвета согласно залегает на продуктивной толще. Основной разновидностью пород данной подсветы являются кварц-полевошпат-биотитовые сланцы, занимающие более 70% толщи, кварц-гранат-биотитовые, гранат-биотитовые, кварц-гранат-куммингтонитовые породы с роговой обманкой (до гранат-роговообманково-куммингтонитовых), вулканиты,

куммингтонитовые кварциты, амфиболиты, пироксен-амфиболовые породы, песчаники и гравелиты. Общая мощность подсветы до 1000 м.

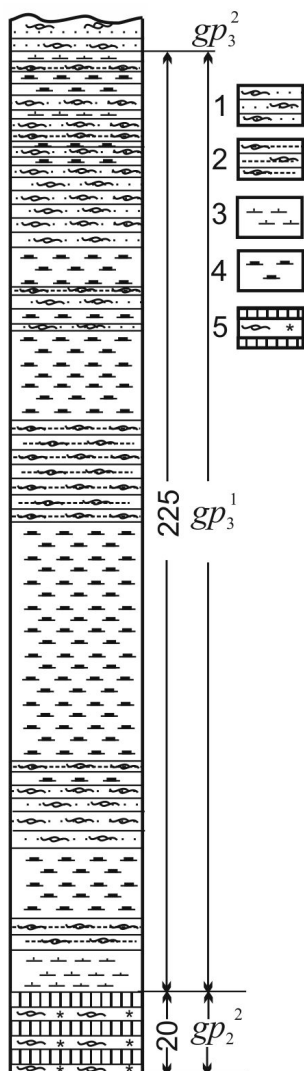


Рис. 12. Деталь строения гранатитовой пачки. М 1:2000: 1 – кварц-полевошпат-биотитовые сланцы (биотит-сланцевая пачка); 2 – кварц-гранат-биотитовые (гранат-биотитовые) сланцы; 3 – вулканиты; 4 – кварц-гранат-куммингтонитовые породы с роговой обманкой; 5 – чередование микрокварцитов и кварц-биотитовых сланцев

Перечисленные выше породы имеют специфическое распространение в рассматриваемой толще. Здесь наблюдается перемежаемость кварц-полевошпат-биотитовых сланцев с обилием вулканитов, гранатовых разновидностей пород. Последнее характерно для низов этой толщи (гранатитовая пачка, рис. 12). Общая мощность этой пачки достигает 150 м.

Вулканиты пользуются распространением в нижней ее части и менее в верхней. По структурно-текстурным признакам они сходны с рассмотренными выше. Мощность вулканогенных пород колеблется от 0,2 до 20 м.

Гранатовые разновидности подразделяются на две группы: кварц-гранат-биотитовые и гранат-биотитовые сланцы, а также кварц-гранат-куммингтонитовые с роговой обманкой.

Кварц-полевошпат-биотитовые сланцы представляют собой тонкозернистые, сланцеватые породы. В основной массе породы присутствует гранат с хорошей кристаллографической огранкой, размером до 1–2 мм, а также ставролит в виде удлиненных кристаллов размером 0,4×1,5–2 см. Количество граната не превышает 3 %. Ставролит от 1 до 10 % обычен в низах пачки.

Кварц-гранат-биотитовые и гранат-биотитовые сланцы отличаются более крупнозернистым биотитом и массовым развитием граната. Размер зерен граната достигает 1 см, а количество, порой преобладающее (до 80%). Биотит в таком случае выступает в роли "цемента". Кристаллографическая огранка граната близка к идеальной. Текстура пород полосчатая (кварц-гранат-биотитовая разновидность) сланцеватая и пятнистая (гранат-биотитовые), свилеватая. Полосчатая текстура

вызвана появлением прослоев, обогащенных кварцем. На таких участках меняется крупность гранатовых зерен. Так, в случае увеличения мощности гранат-биотитовых прослоев, гранаты мелкие (менее 1 мм), а на участках частого чередования кварцевых и сланцевых прослоев и их смятия, гранаты по размеру становятся в 1,5–3 раза крупнее. Для гранат-биотитовых сланцев характерна выдержанность размера зерен. Приурочены эти породы, обычно, к границе с

кварц-гранат-кумминтонитовыми породами с роговой обманкой. Мощность гранат-биотитовых разностей составляет 1–24 м.

Кварц-гранат-куммингтонитовые и кварц-гранат-роговообманково-куммингтонитовые породы сходны между собой. Меняется лишь соотношение роговой обманки. Текстура породы массивная, пятнистая, сланцеватая, иногда полосчатая (на участках чередования с микрокварцитами мощностью до 1 см). Макроскопически можно наблюдать замещение граната кварцем и куммингтонитом. Гранаты в этих породах не имеют кристаллографической огранки, развальцованы. Мощность рассматриваемых разновидностей пород изменяется от 2 до 60 м.

Описанная пачка пород переходит постепенно в более монотонную, (биотит-сланцевая пачка, рис. 11–13) сложенную кварц-полевошпат-биотитовыми сланцами с кордиеритом и подчиненным количеством вулканитов, куммингтонитовых (грюнеритовых) кварцитов и амфиболитов, мощностью от 0,2 до 4 м. Общая мощность пачки 600–800 м.

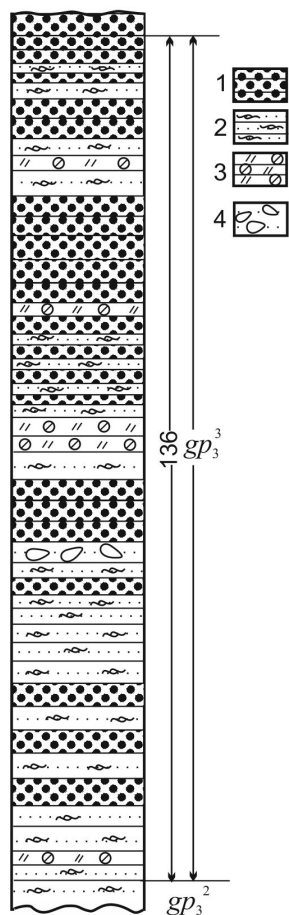


Рис. 13. Деталь строения пачки туфопесчанников верхней свиты, М 1:1000:1 – туфопесчанники; 2 – кварц-полевошпат-биотитовые сланцы (биотит-сланцевая пачка); 3 – амфиболовые, пироксен-амфиболовые породы; 4 – гравелиты

Вулканиты (амфиболиты) нижней части биотит-сланцевой пачки отличаются от описанных выше. По внешнему облику они пятнистые. Пятна (гнезда) представлены биотитом и роговой обманкой размером 1×4 мм. Форма овальная, линзовидная, неправильная. Количество таких выделений составляет 20–40 % объема породы. Мощность прослоев вулканитов от 2 до 10 м. В отдельных разрезах вулканиты переслаиваются с кварц-полевошпат-биотитовыми сланцами.

Контакты четкие, иногда на границе перехода между ними наблюдается кварцевый прослой мощностью до 1 см.

Завершает разрез пачка пород, где наблюдается перемежаемость туфопесчанников, гравелитов, кварц-полевошпат-биотитовых сланцев, куммингтонитовых кварцитов, куммингтонит-актинолитовых и пироксен-амфиболовых пород и, реже, прослой гранатовых пород (рис. 13). Мощность амфиболовых разновидностей меняется от 2 до 5 м, гравелитов – от 2 до 3 м. Общая мощность пачки достигает 200–300 м. Туфопесчанники являются преобладающими над кварц-полевошпат-биотитовыми сланцами. Мощность туфопесчанников в отдельных прослоях составляет 3–16 м, сланцев – 2–8 м. Картина переслаивания часто нарушается в связи с проявлением деформации пачки. В результате прослой туфопесчанников будинированы. Размер будин – первые сантиметры, форма будин неправильная, овальная, округлая, S-образная.



Туфопесчаники мелко- и крупнозернистые породы массивной структуры, состоящие из кварца, биотита, полевых шпатов. Гравелиты идентичны по составу, но крупность слагающих зерен увеличивается до 8 мм. Форма зерен кварца округлая, овальная. Количество крупных зерен составляет 10–15 % объема породы.

Куммингтонитовые (грюнеритовые) сланцы (кварцито-сланцы) представляют собой породы полосчатой и сланцеватой структуры. Мощность кварцевых слоев в кварцито-сланцах до 8 мм, грюнеритовых – от 3 до 8 мм. В данных породах понижено содержание железа связанного с магнетитом и их мы относим к бедным железистым кварцитам претерпевших перекристаллизацию в восстановительных условиях [5-7].

Куммингтонит-актинолитовые и пироксен-амфиболовые породы полнокристаллические. Имеют четкие контакты, иногда прослеживается дробление вдоль них, окварцевание или куммингтонизация.

В верхней части разреза метаморфической части разреза наблюдается площадная сульфидизация, калишпатизация, кварц-полевошпатовые, карбонатные, апатит-карбонат-кварцевые жилы. Апатит образует столбчатые кристаллы размером 0,5х3,5 см. Мощность жильных тел с апатитом 0,5-0,3 м.

В Гуляйпольской подзоне (блоке) для железисто-кремнистой формации характерна базит-теригенно-железисто-кремнистая породная ассоциация с подчиненным количеством ультрабазитов и отсутствием карбонатных пород. Верхняя часть геологического разреза претерпела интенсивный метасоматоз калий – натрового профиля, нижняя – гранитизацию. Пегматиты и метасоматические зоны с редкометально-редкоземельной минерализацией в разрезе толщи выражены незначительно ( $Th \geq U$ ). Месторождение комплексное: железистые кварциты, глиноземистое сырье, розовый андалузит, гранатовое, мусковитовое сырье. В стратиграфическом разрезе Гуляйпольской межкупольной синклинали выделяется три толщи:  $gp_1$ ,  $gp_2$ ,  $gp_3$ , которые подразделяются на пачки. Вне синклинали или приподнятой части блока верхняя часть метаморфической толщи характеризуется чередованием амфиболитов, кварц-гранат-амфибол-биотитовых кварцито-сланцев, амфибол-биотитовых мигматитов, амфиболовых (роговая обманка + актинолит + биотит + микролин + кварц) и биотитовых гнейсов, кварц-актинолитовых, актинолитовых, серпентин-актинолитовых (тремолитовых) пород по ультрабазитам. Базиты подвергались окварцеванию, эпидотизации, карбонатизации, хлоритизации, вблизи тектонической проработки альбитизации. Железистые кварциты здесь имеют незначительное развитие, амфибол-магнетитовый, пироксен-амфибол-магнетитовый состав. Железисто-силикатные сланцы представлены кварц-магнетит-гранат-амфиболовыми породами. Данную часть разреза мы склонны относить к амфиболито-гнейсовой пачке нижней толще гуляйпольской свиты.

#### Список литературы

1. Структуры железорудных полей и месторождений Приазовья / А.И. Каталенец, Е.Н. Качанов, В.П. Кривонос, И.И. Могилевец // Изв. высш. учеб. заведений. Геология и разведка. – 1986. – №12. – С. 28-39.

2. Каталенец А.И. О метасоматозе на Гуляйпольском месторождении / А.И. Каталенец, В.В. Пирогова. В кн. Минералогия рудных месторождений Украины. – К.: Наук. думка, 1984. – С. 149-159.
3. Каталенец А.И. Особенности гранитизации железистых кварцитов / А.И. Каталенец, А.Г. Волков. В кн. Метаморфогенная металлогения Урала. – Свердловск: Уралгеология, 1988. – С. 102-108.
4. Коваль В.Б. Рудные метасоматиты железисто-кремнистых формаций восточной части Украинского щита / В.Б. Коваль, А.И. Каталенец // Збірник наукових праць. – К.: Інститут геохімії навколишнього середовища НАН та МНС України, 2006. – вип. 12. – С. 19-27.
5. Каталенец А.И. Железорудные зоны, поля и месторождения восточной части Украинского щита [Текст]: дисс. ... д-ра геол.-мин. наук / Каталенец Анатолий Иванович. – ЛГУ им. Ивана Франко. 18.12.1996. – 487 с.
6. Каталенец А.И. Изменение минеральных ассоциаций железистых кварцитов в различных фациях метаморфизма и роль кислорода / А.И. Каталенец. В кн. Онтогенез минералов и технологическая минералогия. – К.: Наук. думка, 1988. – С. 144-157.
7. Каталенец А.И. Метаморфизм углеродистых и железисто-кремнистых образований / А.И. Каталенец // Изв. АН СССР. – 1989. – № 7. – С. 110-121.

*Рекомендовано до публікації д.г-м.н. Нагорним Ю.М.  
Надійшла до редакції 19.11.13*

УДК 622.349.5:621.039.007

© О.Е. Хоменко, Л. Ценджав

## **ТЕХНОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МОНГОЛИИ МЕТОДОМ СКВАЖИННОГО ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ**

Приведены результаты промышленных, лабораторных и теоретических исследований по обоснованию геотехнологических параметров разработки гидрогенных месторождений урана в Монголии. Предложен погоризонтный способ подготовки обособленных залежей на различных глубинах и обосновано рациональные расстояния между закачными и откачными скважинами. Оценены результаты внедрения технологических решений по отработываемым месторождениям урана.

Наведено результати промислових, лабораторних і теоретичних досліджень з обґрунтування геотехнологічних параметрів розробки гідрогенних родовищ урану в Монголії. Запропоновано погоризонтного спосіб підготовки відокремлених покладів на різних глибинах та обґрунтовано раціональні відстані між закачними і викачними свердловинами. Оцінені результати впровадження технологічних рішень по розроблюваним родовищам урану.

The results of industrial, laboratory and theoretical studies to validate the parameters for geotechnical hydrogenic uranium deposits in Mongolia. We propose a method of preparing a separate gorizontnoy deposits at various depths and reasonable rational distance between wells. Evaluated the results of the introduction of technological solutions of the deposit of uranium.

Глобальный мировой кризис усилил изменение мировых энергетических ориентиров в сторону ядерного топлива. Сегодня уран превратился в стратегический продукт глобальной экономики, на долю которого приходится выработка бо-

лее 15 % электроэнергии в мире. Преодоление растущего глобального дефицита энергии напрямую зависит от развития атомной энергетики во всем мире. Ежегодный рост добычи урана происходит на фоне исчерпания его дополнительных источников – утилизированных в США и России боеголовок. Анализ мирового потребления урана для производства электроэнергии на АЭС показал, что до 2025 г. мощность ядерной энергетики будет находиться в интервале 450 (+22 %) – 530 (+44 %) ГВт и приведет к ежегодному потреблению урана на уровне 80 – 100 тыс. т. При условии использования в урановом цикле только тепловых реакторов, дефицит урана возникнет в 2050 г. Коренное изменение сложившейся ситуации может произойти только с внедрением быстрых реакторов-размножителей, которые сделают рентабельной добычу урана из бедных и мелких месторождений.

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, Чехия – 5, Румыния и Испания по 2, Украина – 5; Азии: Россия – 16, Казахстан – 16, Узбекистан – 15, Монголия – 3, Китай – 11, Южная Корея и Индия по 1; Африке: Марокко – 4, Алжир – 3, Нигер – 12, Камерун, Танзания, Малави, Мадагаскар, ЦАР по 1, Сомали и Замбия по 2, Намибия и ЮАР по 12; Австралии – 22. Мировые разведанные запасы урана (без учета Монголии) составляют более 5 млн т, в т.ч. Австралия 1 234, Казахстан 817, Россия 548, ЮАР 435, Канада 423, США 342, Бразилия 278, Намибия 275, Нигер 274, Украина 200 тыс. т и др. Интенсивная эксплуатация месторождений урана производится 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. Разведанные запасы урана в Монголии составляют 1475,0 тыс. т, благодаря которым страна войдет в число 10 богатейших стран мира с занятием лидирующих позиций (3 – 5 место) среди стран-обладателей уранового сырья. Значительный объем разведанных и подготовленных к разработке запасов обеспечит быстрый ввод месторождений в интенсивную эксплуатацию.

Анализ современных способов интенсификации добычи урана в научно-технических, проектно-исследовательских и интернет-ресурсных источниках показал, что относительно дешевое производство урана на уровне \$ 35 за кг возможно только компаниями, эксплуатирующими два типа месторождений. Это объекты «несогласий» Канады и гидрогенные месторождения Австралии, Узбекистана, Казахстана и России, или при попутной добыче на месторождениях Южной Африки. Существующий мировой опыт эксплуатации урановых месторождений методом скважинного подземного выщелачивания (СПВ) показал, что безотказная работа геотехнологического оборудования эффективна в условиях плюсовых температур. Географическое расположение Монголии характеризуется резко континентальным климатом Центральной Азии, где плюсовые температуры фиксируются в летние месяцы, а зимняя температура опускается ниже  $-50^{\circ}\text{C}$ . Бурение и оборудование геотехнологических скважин, монтаж и демонтаж оборудования, работа с растворами и материалами в таких климатических условиях носит сезонный характер, что обуславливает необходимость отработки месторождений только в летнее время. При этом, на всех гидроген-

ных месторождениях страны рудные тела залегают на разных глубинах, что увеличивает время и затраты на их отработку.

В результате выполненного анализа потребления урана на мировом рынке, месторождений и запасов, способов интенсификации и объемов добычи, сформирована научно-практическая задача по повышению интенсивности отработки гидrogenных месторождений урана в Монголии в условиях сезонного ведения работ. Обоснование путей интенсификации и методов концентрации горных работ на указанных месторождениях Монголии, которые характеризуются сложными климатическими условиями при высокой изменчивости размеров и формы рудных тел, содержания урана и количества радиоактивных элементов в рудах, имеет актуальное значение для ускорения промышленного развития страны [1].

Бурение вскрывающих скважин являлось основным видом промышленных исследований, применяемых на месторождениях урана гидрогенного типа Монголии. Шаг в профиле между скважинами определялся масштабами и характером развития оруденения и составлял 800–400 м со сгущением в благоприятной ситуации до 200–100–50 м. Основным критерием определения глубины бурения являлось развитие окислительных процессов. Вследствие этого скважины бурились на глубину 150–250 м, иногда до 300 м. Буровые работы выполнялись совместно с двумя монгольскими буровыми компаниями. Компания «Ord Geo» производила бурение на Ульзитинском месторождении, компания «Tanap Imprex» последовательно выполняла работы на Хайрханском, Гурван-Сайханском и Хараатском месторождениях. Совместно с компанией «Denison mines Mongolia» выполнены исследования на уран в Гобийском районе Монголии. Работы проводились совместном Монголо-Российско-Американским предприятием «Гурван-Сайхан».

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 гнездообразные 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 [2].

Лабораторные исследования являются одним из основных этапов научно-исследовательских работ по определению вещественного состава и свойств горных пород, которые выполнены на примере месторождения «Ульзит». Основной объем лабораторных работ приходился на обработку 359 керновых проб обработанных в различных лабораториях Монголии, Канады и России. Все пробы были обследованы высокоточными методами в лаборатории «ActLabs» (Канада). 43 пробы были проанализированы для контроля качества в специализированной лаборатории ГП «Сосновгеология» (Россия). Также для 44 проб

проведен анализ рентгено-флуоресцентным методом, а также изучение химического и минералогического составов рудовмещающих пород, их физико-механических свойств в центральной геологической лаборатории Монголии.

По результатам геохимических исследований радиологических свойств установлено наличие элементов-спутников урана и их концентрация в рудах. Установлено, что при добыче урана методом подземного выщелачивания потребуются дополнительное использование окислителей. Эксперименты, выполненные при лабораторном опыте выщелачивания, показали возможность стабильного и динамичного процесса извлечения урана при непрерывной подаче техногенного окислителя (перекиси водорода) со средней концентрацией 0,06 г/л, либо природного окислителя – трехвалентного железа. Анализ динамики выщелачивания урана при концентрации кислоты в растворе от 5 до 20 г/л позволил вывести экспоненциальную зависимость с кинетическим параметром  $a$ . По результатам лабораторных опытов выщелачивания, закисление массива руды при добыче урана рекомендуется проводить растворами с концентрацией кислоты 10–15 г/л, а выщелачивание – растворами с концентрацией кислоты 8–12 г/л. Для интенсификации выщелачивания необходимо увеличить время взаимодействия рабочих растворов с горной массой, что можно достичь увеличением расстояния между скважинами до 25–50 м при достаточной проницаемости массива рудных залежей [3].

Теоретическое моделирование выполнялось с помощью физико-математических исследований, включающих формирование модели миграции продуктивных растворов с помощью метода конечных разностей. Алгоритм конечно-разностного решения дифференциального уравнения фильтрации в горных породах положен в основу программного обеспечения «ModFlow», (Schlumberger W.S.) используемого для исследования процесса движения продуктивных растворов при подземном выщелачивании урана. При задании границ области миграции учитывалось, что гидродинамическое и физико-химическое воздействие на массив ураноносных песчаников невысокой проницаемости ограничено пределами рудных тел и небольшой приконтурной зоной вокруг них шириной 30–40 м. Для корректного отображения в модели гидродинамической изолированной области миграции ее границы расположены на удалении не менее 200 м от контура самого широкого рудного тела 3 месторождения «Ульзит». Такая схематизация при составлении модели допустима при замедленном водообмене, слабом естественном потоке подземных вод и низкой инфильтрации, характерных для пустынной территории месторождения «Ульзит».

Учитывая малую мощность проницаемых пород, отсутствие выдержанных водоупорных слоев, весь обрабатываемый ураноносный массив песчаников моделировался как единый комплекс. При расчетах были приняты следующие исходные данные: коэффициент фильтрации 1 м/сут., инфильтрация 5 мм/год, пористость 0,1, активная пористость 0,05, кинетические параметры массообмена  $\alpha_1=0,6 \text{ сут}^{-1}$ ,  $\alpha_2=0,001 \text{ сут}^{-1}$ . На границе области задан постоянный уровень подземных вод 1030 м. По вертикали область аппроксимировалась 10 слоями мощностью 20 м, в каждом из которых начальное содержание урана в твердой фазе задавалось согласно среднему значению по рассматриваемому участку месторождения [4].

Теоретические исследования процессов интенсификации при выщелачивании урана. Помимо выполненных промышленных и лабораторных исследова-

ний, был выполнен анализ параметров проницаемости горных пород и химического состава подземных вод. Установлено, что породы рудоносных горизонтов месторождения «Ульзит» характеризуются проницаемостью, изменяющейся от малых (0,1 м/сут.) до средних значений ( $>10$  м/сут.). Проводимость водовмещающих пород невысокая, обычно до 25 м<sup>2</sup>/сут., в отдельных случаях более 50 м<sup>2</sup>/сут. Уровни подземных вод на месторождении, в зависимости от формы рельефа, находятся на глубине 1,4–7,5 м с абсолютными отметками 1076–1078 м. Химический состав подземных вод месторождения имеет однотипный вид. Это хлоридно-сульфатные, магниевые-натриевые, реже натриевые воды с минерализацией 3–5 г/л, с нейтральной, слабощелочной средой. Общая жесткость воды колеблется от 7,5 мг-экв/л до 34,0 мг-экв/л. Для подземных вод водоносных горизонтов характерно отсутствие окисного железа, небольшие содержания закисного железа (2,8–7,3 мг/л), присутствие сероводорода до 10,2 мг/л. Содержания урана в подземных водах колеблется от  $3 \cdot 10^{-5}$  г/л до  $3 \cdot 10^{-4}$  г/л. В нижнем и среднем продуктивных горизонтах содержание урана в воде составляет  $(3–5,4) \cdot 10^{-5}$  г/л, в верхнем горизонте содержания более высокие –  $(1–3) \cdot 10^{-4}$  г/л.

Ввиду неполного покрытия ячейками участка рудного тела и выхода некоторых ячеек за его пределы возможно небольшое, до 5–10 м, растекание части раствора за контур рудного тела. Незначительные остатки этих растворов с непрореагировавшей кислотой могут несколько месяцев находиться за пределами рудного тела. Средняя концентрация урана в извлекаемом растворе при отработке колеблется от 30 до 80 мг/л, что при суммарном объеме откачанных растворов обеспечивает извлечение 9–10 т урана с рудного тела 1. Это соответствует 74 % извлечения урана. Миграция кислотного раствора и растворенного урана в обрабатываемом массиве в условиях залегания рудного тела 1 месторождения «Ульзит» на площади до 60 000 м<sup>2</sup> (6 га) в интервале отметок 840–1020 м носит трехмерный характер. С учетом технологических возможностей предполагается последовательная нисходящая отработка рудных тел 1, 2, 3, 4 и 5 на данном участке по блокам, состоящих из гексагональных ячеек. Расположенное сверху в интервале отметок 1010–1020 м рудное тело 1 предлагается обрабатывать по 4 блокам, каждый из которых состоит из 9 ячеек. Применение гексагональной схемы позволит рационально расположить скважины на участке и использовать их на нескольких горизонтах отработки. Для рудного тела 1 предлагаемое покрытие гексагональными ячейками охватывает более 90 % его площади. Фактически ввиду постепенного смещения понижений уровня подземных вод, растворы будут фильтроваться через всю площадь рудного тела, хотя и с различной интенсивностью [5].

В результате выполнения теоретического моделирования определены уровни и направления движения подземных вод при отработке рудного тела 1 месторождения «Ульзит». При отработке каждого блока вокруг него формируется депрессионная воронка с локальными понижениями в откачных скважинах до 3 м уровня подземных вод. При этом скорость фильтрации вблизи скважин достигает 2 м/сут. Ввиду неполного покрытия ячейками участка рудного тела и выхода некоторых ячеек за его пределы возможно небольшое, до 5–10 м, растекание части раствора за контур рудного тела. Незначительные остатки этих растворов с непрореагировавшей кислотой могут несколько месяцев находиться за пределами рудного тела. Средняя концентрация урана в извлекаемом растворе при отработке ко-

леблется от 30 до 80 мг/л, что при суммарном объеме откачанных растворов обеспечивает извлечение 9–10 т урана с рудного тела 1. Так же в разделе даны инженерные мероприятия по физико-химической активизации участков кислотно-го реагирования и недопущения образования известковых растворов с последующим изменением кислотности подземных растворов.

Далее выполнено обоснование технологических параметров разработки урановых месторождений методом СПВ. Предлагаемый погоризонтный способ подготовки месторождения характеризуется высокой степенью концентрации горных работ за счет применения групповых скважин, а не проведения новых для каждого рудного тела. Конструкция групповых скважин позволяет поитервально обрабатывать несколько рудных тел, колонны которых состоят из сальник-зонтов, фильтров, промывочных окон, цементных труб и сальников. Обработку обособленных рудных тел проводят в зависимости от мощности и проницаемости безрудных промежутков отдельно друг от друга и совместно, сверху вниз и снизу вверх, что позволяет отделить каждый горизонт закисления от остальных. Еще одним преимуществом данного способа является отсутствие обязательной цементации. Обоснованность применения данной схемы определяется тем, что мелкие кольцевые зазорные щели и присутствие в стволе скважин раствора из глины практически полностью исключают движение жидкости по кольцевому зазору, которое происходит последовательно от одного фильтра к другому. Наибольшая эффективность будет достигнута с применением полиэтиленовых труб, которые можно опускать на глубину до 300 м с соединением стыков с помощью сварки. Также водовмещающие породы напрямую определяют тип, а также конструкцию фильтров. Химический и физический состав подземных вод также необходимо учитывать при выборе надлежащего типа фильтра и оборудования к нему. Необходимо обращать внимание на возможный срок службы фильтра и, соответственно, насосов.

Таблица

Рекомендуемые технологические параметры добычи урана

Месторождение	«Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан»	«Ульзит»
Параметр		
Радиус гексагональной ячейки, м	22,5–44,3	12,5–26,1
Дебит откачной скважины, м <sup>3</sup> /сут.	121,0–196,3	41,7–84,3
Время закисления блока, сут.	7,5–10,1	16,8–20,1
Время выщелачивания блока, сут.	28,3–33,7	63,2–75,4
Содержание урана в растворе, мг/л	48,7–53,9	66,7–111,8

Параметры гексагональной схемы расположения скважин по результатам моделирования были обоснованы расчетным путем по методике НАК «Казатомпром», которая была адаптирована к условиям отработки месторождений Монголии. В программе «MathCad» были выполнены расчеты основных геотехнологических параметров. Анализ рекомендуемых технологических параметров показал, что они находятся в интервалах, соответствующих показателям отработки урановых руд в сходных геотехнологических условиях Казахстана, Узбекистана, России

и Украины. Также были обоснованы инженерные мероприятия, предупреждающие кольтматацию фильтров и прифилтровых зон скважин.

Отработка месторождения «Ульзит» должна предусматривать организацию модульного добычного участка, на котором будет проводиться добыча урана, сорбция его на смолах с дальнейшим получением насыщенных растворов. Переработка растворов и получение готовой продукции в виде оксидной закиси урана планируется на месторождении «Хайрхан», где будет работать завод по обогащению урана. Расстояние между участками месторождений «Ульзит» и «Хайрхан» составляет 420 км. Такая схема отработки месторождения с начальной производительностью 100 т/год с дальнейшим увеличением до 200–300 т/год представляется вполне рентабельной [5].

Оценку сокращения затрат при добыче урана методом СПВ выполнено на примере месторождения «Ульзит», геотехнологические условия на котором более сложные, по сравнению с месторождениями «Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан». Для месторождения «Ульзит» перекрываемые площади горизонтальных проекций рудных тел 1 и 3 составляют от 60000 до 360300 м<sup>2</sup>. С общим значением перекрытия площадей, равным 63 %. При этом, минимальная густота расположения скважин 0,002 м<sup>-2</sup> при радиусе добычной ячейки  $R_0 = 25$  м, расстояния по вертикали между рудными телами от 20 до 150 м. Наибольшая экономия достигается при бурении скважин до самых глубоких рудных тел 4 и 5. Согласно выполненным расчетам, сокращение расходов на бурение (\$ 50 п.м) за счет совмещения скважин составит \$ 2,508 млн. Применение погоризонтного способа подготовки обособленных рудных залежей месторождения «Ульзит» позволяет сэкономить до \$ 2,5 млн. и до 63 % сократить общее время отработки запасов. Применение рационального радиуса добычной ячейки при гексагональной схеме расположения скважин для месторождений «Хараат», «Хайрхан», «Гурван-Сайхан» позволяет сэкономить до \$ 0,9 млн. для каждого месторождения, что составляет порядка \$ 17,821 тыс. мес.

#### Список литературы

1. Жанчив Б. Современное состояние и тенденции развития урановой отрасли Монголии / Б. Жанчив, О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Школа подземной разработки: Междун. науч.-техн. конф. г. Ялта: Арт-Пресс – 2011. – С. 122 – 125.
2. Жанчив Б., Хоменко О.Е., Рудаков Д.В., Ценджав Л. Геотехнологические параметры вскрытия гидрогенных месторождений урана в Монголии // Сборник научных трудов НГУ, Д.: РИК НГУ, 2013. – № 40. – С. 63 – 69.
3. Ценджав Л. Обоснование параметров выщелачивания урана для гидрогенных месторождений Монголии/Л. Ценджав//Сборник научных трудов НГУ, Д.: РИК НГУ, 2013. – № 41. – С. 30 – 36.
4. Хоменко О.Е., Ценджав Л. Исследование условий залегания, состава и свойств урановых месторождений Монголии / О.Е. Хоменко, Л. Ценджав // Форум горняков: Междун. науч.-практ. конф. г. Днепропетровск: РВК НГУ, – 2012. – Т. 1. – С. 120 – 125.
5. Жанчив Б., Рудаков Д.В., Хоменко О.Е., Ценджав Л. Обоснование параметров разработки урановых месторождений Монголии // Научный вестник НГУ. – 2013. – № 4. – С. 28 – 35.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ковалевською І.А.  
Надійшла до редакції 19.11.13*



## К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ ТОНКИХ И ВЕСЬМА ТОНКИХ ПЛАСТОВ В УСЛОВИЯХ ШАХТ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА

В статье рассматриваются пути повышения качества угля при разработке тонких и весьма тонких пластов в условиях шахт Западного Донбасса.

В статі розглянуто шляхи підвищення якості гірничої маси при розробці тонких і вельми тонких пластів в умовах шахт Західного Донбасу.

In the clause the ways of upgrading quality of coal are examined at development of thin and very thin layers in the conditions of mines of Western Donbas.

В течение последних 20 лет уменьшились объёмы добычи каменного угля со 135 млн. т до 80 млн. т. При этом потребность народного хозяйства и промышленности Украины около 110 млн. т. Необходимо предусмотреть возможность изыскания альтернативных источников получения энергии или увеличения количества традиционно-добываемого топливного сырья.

Горно-геологические условия подземной разработки угольных месторождений на территории Украины достаточно сложные. До 70 % запасов угля составляют пласты мощностью до 0,9 м. Пласты угля характеризуются высокой газоносностью, являются опасными по выбросам, высокозольными, при этом содержание серы достигает в отдельных случаях 3–4 %.

Значительное количество запасов каменного угля сконцентрировано в Павлоградско-Петропавловском районе. Общее количество угольных пластов и пропластков в Павлоградско-Петропавловском районе – 60, мощность колеблется в пределах от 0,1 до 2,0 м, а 18 из них превышает 0,45 м. 21 угольный пласт ( $C_{12}$ ,  $C_{11}$ ,  $C_{10}^B$ ,  $C_9$ ,  $C_8^B$ ,  $C_8^H$ ,  $C_7$ ,  $C_6^B$ ,  $C_6^H$ ,  $C_5^B$ ,  $C_5^H$ ,  $C_4^B$ ,  $C_4^H$ ,  $C_4^1$ ,  $C_4$ ,  $C_3$ ,  $C_2^B$ ,  $C_2^H$ ,  $C_1$ ,  $C_0$ ) имеют промышленное значение. Пласты тонкие, отличающиеся относительной устойчивостью и мощностью. Предел прочности углей на одноосное сжатие колеблется в пределах 15–30 МПа. На сегодня разрабатываются только 10, то есть 55,56 %. При этом для остальных 44,44 % тонких и весьма тонких угольных пластов требуются обоснование параметров их разработки.

Поэтому одной из важнейших проблем шахт Западного Донбасса является подземная разработка весьма тонких и тонких угольных пластов.

Проблема подземной разработки весьма тонких и тонких пластов предопределила необходимость поиска эффективной технологии их выемки. Отказ от подземной разработки таких запасов спровоцирует невозвратимую утерю значительного количества угля.

Применяемые на сегодняшний день технологии подземной разработки тонких и некондиционных угольных пластов приводят к негативным экономическим показателям, ухудшению качества угля за счёт присечки боковых пород, а соответственно – к увеличению объёма отработанных отходов, увеличению техногенной нагрузки в регионе.

Использование для выемки тонких пластов применяемых технологий выемки угля сопровождается, как правило, существенной присечкой боковых по-

род кровли или почвы, что увеличивает зольность угля. При средней мощности пласта 0,7 м, вынимаемая мощность составляет 0,85–1,0 м. Применяемая на шахтах технология ведет к искусственному перемешиванию угля и пустой породы, что снижает качество добываемого угля.

Так или иначе, даже если учесть, что присекаемые породы почвы будут отделены и не заозлят добытый уголь опять же имеет место обрушение 0,0–0,2 м, в некоторых случаях до 0,45 м ложной кровли. Обрушаясь вслед за подвиганием очистного комбайна, ложная кровля добавляет соответственно от 10 до 20 % золы, что характерно сказывается на качестве угля.

Уровень качества угля в современных условиях может привести к экономической несостоятельности предприятий-производителей и потребителей [4].

За многолетний период работы угольной промышленности Украины, вблизи шахт и обогатительных фабрик есть около 150 млн. т угольных шламов и штыбов, использование которых в качестве вторичного топливного ресурса, значительно улучшит состояние топливно-энергетического комплекса. В условиях нагромождения продуктов добычи и переработки, каменных угля и антрацитов появилась и продолжает обостряться проблема образования техногенных месторождений.

Такие месторождения представлены хранилищами шламов, которые занимают огромные площади, что приводит до отчуждения сельскохозяйственных угодий и ощутимому ухудшению экологической ситуации территорий. Но количество полезных горючих компонентов, в таких хранилищах шламов, составляют порядка 30–75 %, которые можно переработать в топливо.

В данном случае решается актуальная промышленная и социальная проблема потребления в дополнительном твёрдом топливе и снижение экологической нагрузки регионов, где ведётся подземная разработка угольных месторождений.

Поэтому возникает важная проблема загрязнения сельскохозяйственных угодий, окружающей среды, а также то, что твердые углеродистые отходы, основную массу которых составляют отходы углеобогащения, различные шламы и бытовые отходы являются специфическим видом отходов, имеют высокий энергохимический потенциал и не столь токсичны, как многие виды промышленных твердых отходов. Таким образом, отходы образуют техногенные месторождения, которые представлены накопленными миллионами тонн угольных шламов. Для подземной разработки данных месторождений необходим выбор рациональной технологии их переработки и использования как дополнительного энергетического ресурса. В качестве эффективной технологии приведения энергетических ресурсов к техническим требованиям предлагается адгезионно-химическая [1,2,3].

Качественная величина энергетических ресурсов характеризуется калорийностью их при использовании в промышленном и народном хозяйстве.

Учитывая выше сказанное в отношении калорийности, предлагается вернуть потерянную в отходах дополнительную добычу к общей в тепловом эквивалентном исчислении на примере шахты «Днепровская» ПАО «ДТЭК» Павлоградуголь» и представить по следующей схеме (рисунок 1).

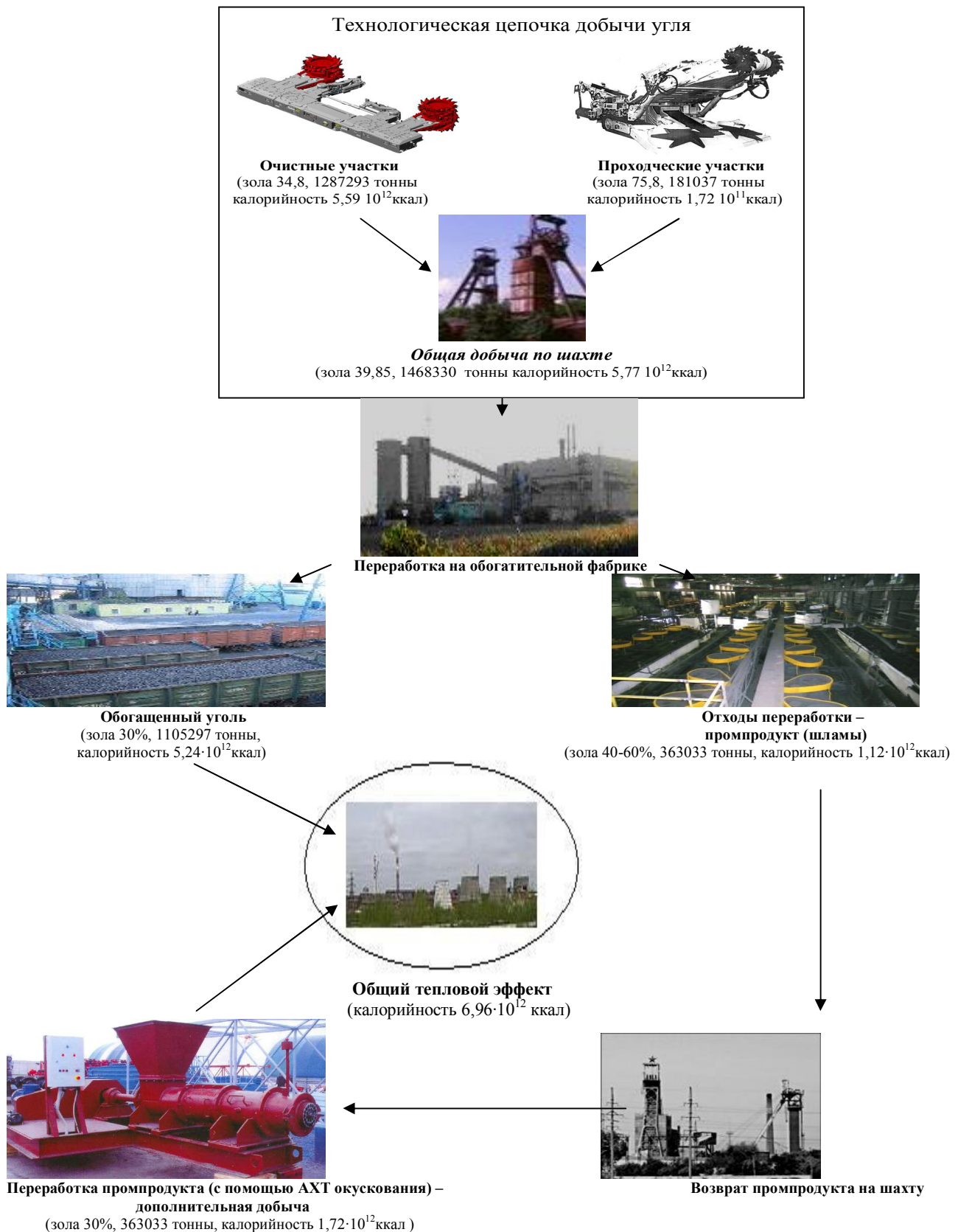


Рис. 1. Схема возвращения дополнительных калорий к общему тепловому эквиваленту калорийности шахты

В сложных горно-геологических условиях подземной разработки энергетических ресурсов возникает необходимость вовлечения в реализацию вторич-

ного сырья в виде угольных шламов и других видов углеродсодержащих веществ как дополнительной добычи горнодобывающих предприятий.

В связи с этим возникает вопрос о необходимости выбора параметров подземной разработки тонких и весьма тонких угольных пластов и установления целесообразности их разработки в сложных горно-геологических условиях. Для установления закономерностей целесообразности (экономически выгодной) подземной разработки выполним исследования по следующему алгоритму:

- 1) Анализ горно-геологической характеристики угольных пластов;
- 2) Обоснование и выбор выемочной техники для разработки тонких и весьма тонких угольных пластов;
- 3) Установление параметров технологии выемки с учётом изменения геологических условий залегания угольного пласта;
- 4) Расчёт количества золы в добываемой горной массе с учётом параметров технологии выемки;
- 5) Установление величины прибыли, получаемой с тонны концентрата, которая характеризует эффективность разработки угольных пластов;

Для установления области целесообразности подземной разработки были выполнены аналитические исследования качества угля в технологической цепочке добычи (из проходческих и очистных забоев), была разработана и предложена схема эффективного движения калорийности, которая в результате исследований позволила определить рациональные параметры разработки. На основании исследований качества предложен критерий теплового эффекта  $T_{эф}$ , который характеризует горную массу её теплотворностью в ккал (МДж), а также рентабельностью (%) разработки полученную в зависимости от прибыли (млн. гривен).

$$T_{эф} = M_{н.т} \cdot \mathcal{E}_к \quad (1)$$

где  $M_{н.т}$  – количество теплоты, получаемое от сжигания натурального топлива, ккал;  $\mathcal{E}_к$  – калорийный эквивалент (29,3 МДж/кг или 7000 ккал/кг).

$$M_{н.т} = D_{общ.доб} \cdot Q_p^H \quad (2)$$

где  $Q_p^H$  – низшая теплота сгорания 1 кг угля, ккал/кг;  $D_{общ.доб}$  – величина общей добычи угля по шахте, т.

Результаты исследований целесообразности сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Показатели целесообразности подземной разработки тонких и весьма тонких угольных пластов (на примере угольных пластов шахты «Днепровская» ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»)

Мощность, $m$ (м)	0,4	0,65	0,8	0,9	1
Тепловой эффект, $T_{эф}$ ( $10^{12}$ ккал)	1,26	1,41	1,85	2,06	2,25
Рентабельность, $R$ (%)	14	27,6	67,41	127	145,3

**Выводы.** Предложено возвращение отходов обогащения угля – шламов – на шахту для последующей переработки, с помощью технологии адгезионо-химического окускования и получение твердого топлива с приведенными технологическими показателями к техническим требованиям. Обоснована и предложена технологическая схема добычи угля с более полным использованием продуктов вторичных энергоресурсов. Установлена целесообразность разработки тонких и некондиционных угольных пластов с присечкой вмещающих пород.

#### Список литературы

1. Гайдай А.А., Мальченко В.И. К вопросу окускования каменноугольных шламов, бурого угля и торфа //Матер. I Міжнар. наук.-практична конф. «Школа підземної розробки» 17-22 вересня 2007 р. – Дніпропетровськ-Ялта, 2007. – С. 368-374.
2. Пат. №65923А України МПК7 C10L5. Спосіб згрудкування твердого палива органічного походження та шихта /П.І. Пілов, В.І. Бондаренко, Г.О. Куденко, Н.В. Канарська – Заявник і патентовласник ПП «Спецтехнологія». - № 2003076167; заявл. 03.07.03, опубл. 15.04.04, Бюл. №4.
3. Гайдай А.А. Исследования прочностных свойств брикетов из угольных шламов и штыбов, полученных способом холодного окускования //Сб. научн. тр. /НГУ. – 2006. – №26, Т.1. – 208 с.
4. Пілов П.І. Аналіз факторів, забезпечуючих якість продукції угольної промисловості /Матер. III Міжнар. наук.-практична конф. «Школа підземної розробки» 13-19 вересня 2009 р. – Дніпропетровськ-Ялта, 2009. – С. 48-63.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бондаренком В.І.  
Надійшла до редакції 29.10.13*

УДК 622.647.2

© Р.В. Кирия

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ СИСТЕМ ПОДЗЕМНОГО КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

На основании метода динамики средних для марковских процессов определена пропускная способность системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт с последовательным и параллельным соединением конвейеров и бункеров, а также с древовидной веерной и самоподобной структурами. Приведен пример и анализ расчета системы подземного конвейерного транспорта с древовидной структурой. Определены предельные оценки пропускной способности для этого примера.

На підставі методу динаміки середніх для марківських процесів визначено пропускну спроможність системи підземного конвеєрного транспорту вугільних шахт з послідовним і паралельним з'єднанням конвеєрів і бункерів, а також з деревовидною віяловою і самоподібною структурами. Наведено приклад і аналіз розрахунку системи підземного конвеєрного транспорту з деревовидною структурою. Визначені граничні оцінки пропускної спроможності для цього прикладу.

Method based on the dynamics of average for Markov processes defined bandwidth the system of underground conveyer transport of coal mines with connection of conveyers and bunkers succes-

sive and parallel is certain, and also with a treelike fan-shaped self-similar structures. An example of the calculation and analysis system of underground conveyer transport with a treelike structure is resulted. Set limit bandwidth estimations for this example are certain.

В системах подземного конвейерного транспорта угольных шахт широкое распространение получили аккумулялирующие бункеры. Они позволяют за счет накопления некоторого количества груза в бункере в процессе работы системы транспорта существенно увеличить ее пропускную способность.

Опыт эксплуатации подземного конвейерного транспорта показал, что низкая эффективность его работы связана с недостаточной пропускной способностью.

Поэтому для проектирования системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт необходимо определять ее пропускную способность с учетом простоя конвейерного оборудования и наличием аккумулялирующих бункеров. Вопросами определения пропускной способности систем конвейерного транспорта занимались многие исследователи: О. А. Спиваковский, Л. Г. Шахмейстер, Л. М. Алотин, П. Б. Степанов, Б. Г. Климов и В. А. Пономаренко. В этих работах рассмотрены вопросы определения надежности и пропускной способности систем конвейерного транспорта для простых систем, т.е. систем с последовательным соединением конвейеров и бункеров.

В работе [1] определена пропускная способность систем конвейерного транспорта с самоподобной древовидной структурой.

Анализ систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт показал, что в основном они имеют самоподобную древовидную структуру. Другими словами – структурную схему конвейерного транспорта можно разбить на иерархические уровни, при этом каждый уровень повторяет одну и ту же структуру (граф). Такие геометрические структуры называются древовидными фракталами.

В данной статье, на основе метода динамики средних, для марковских процессов [2] определена пропускная способность систем подземного конвейерного транспорта с последовательным и параллельным соединением конвейеров и бункеров, а также с самоподобной древовидной структурой.

На рисунке 1 показаны типичные схемы подземного конвейерного транспорта угольных шахт с последовательным и параллельным соединением бункеров, а также системы конвейерного транспорта с бункерами древовидной структуры.

Древовидную структуру подземного конвейерного транспорта угольных шахт можно объяснить цикличностью технологии добычи угля: проходка – добыча – проходка. В результате каждый новый участок конвейерного транспорта подсоединяется к уже существующей системе, образованной в результате множества циклов добычи угля. Этот процесс можно сравнить с процессом роста дерева, где циклом является весна – лето – осень.

Поэтому пропускную способность определим именно для таких систем конвейерного транспорта.

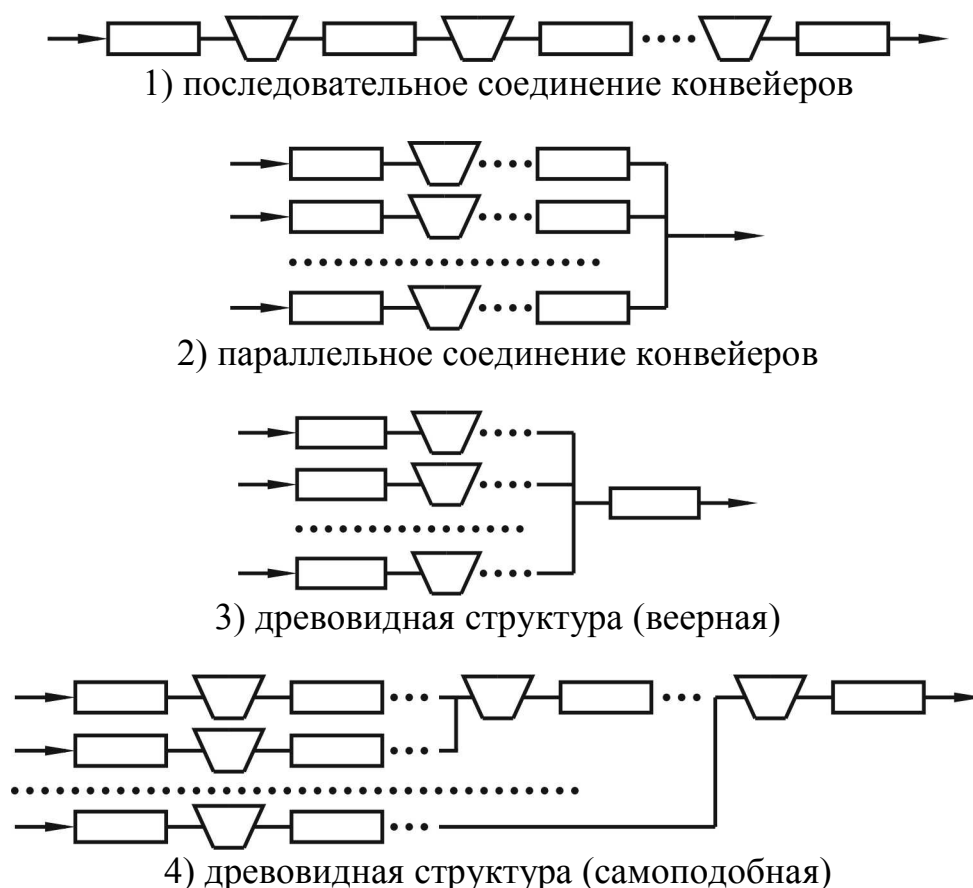


Рис. 1. Структурные схемы подземного конвейерного транспорта угольных шахт с бункерами

Как было показано в работе [3], одним из основных показателей функционирования систем конвейерного транспорта являются средние значения пропускной способности  $m_c$ , определяемые по формуле

$$m_c = \sum_{i=0}^s P_i Q_i, \quad (1)$$

где  $P_i$  – вероятность того, что система конвейерного транспорта находится в  $i$ -ом состоянии;  $Q_i$  – производительность системы конвейерного транспорта, находящейся в  $i$ -ом состоянии;  $s$  – количество возможных состояний системы конвейерного транспорта при остановках или отказах конвейеров.

Как видно из формулы (1), для определения значения  $m_c$  необходимо знать структуру системы конвейерного транспорта, из которой определяется количество возможных состояний системы  $s$  и вероятности  $P_i$  нахождения системы транспорта в каждом  $i$ -ом состоянии ( $i = 1, s$ ).

Однако непосредственное определение вероятностей нахождения системы  $P_i$  требует решения системы уравнений Колмогорова с большим количеством уравнений, равном огромному количеству состояний системы конвейерного транспорта. Поэтому для определения пропускной способности таких систем транспорта был использован метод динамики средних для марковских процессов [2], при котором вместо уравнений Колмогорова относительно неизвестных вероятностей состояний  $P_i$  составляются уравнения относительно средних зна-

чений характеристик системы, в частности, относительно пропускной способности системы конвейерного транспорта. При этом было использовано свойство самоподобия структуры системы подземного конвейерного транспорта.

Рассмотрим сначала последовательное соединение бункеров (рис. 2).

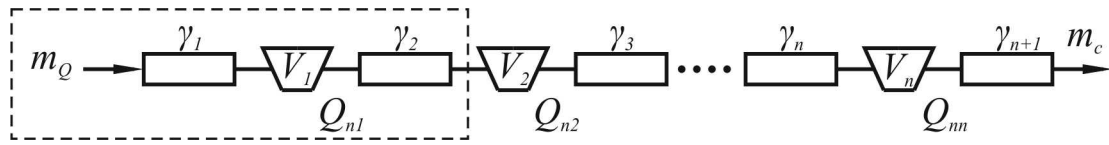


Рис. 2. Расчетная схема последовательного соединения бункеров

Для определения пропускной способности систем конвейерного транспорта с бункерами воспользуемся свойством самоподобия структуры последовательного соединения бункеров.

Выделим в этой схеме с левого края простейшую систему «конвейер – бункер – конвейер», обведенную пунктирной линией (рис. 2).

Согласно работе [4], среднюю пропускную способность этой простейшей системы можно определить по формуле:

при  $m_Q > Q_{n1}$

$$m_{c1} = \left[ \frac{e^{A_{11}\gamma V_1} + \frac{\bar{m}_{Q1}}{(\bar{m}_{Q1} - \bar{Q}_{n1})} (e^{A_{11}\gamma V_1} - 1)}{1 + \frac{e^{A_{11}\gamma V_1}}{\gamma_1} + \frac{\bar{m}_{Q1}}{(\bar{m}_{Q1} - \bar{Q}_{n1})} (e^{A_{11}\gamma V_1} - 1)} \right] \bar{Q}_{n1}, \quad (2)$$

где  $m_Q$  – производительность надбункерного конвейера;  $Q_{n1}$  – производительность питателя;  $V_1$  – объем питателя;  $\gamma$  – удельный вес груза;

$$A_{11} = \frac{\mu_1 [m_Q - (1 + \gamma_1) \bar{Q}_{n1}]}{(\bar{m}_{Q1} - \bar{Q}_{n1}) \bar{Q}_{n1}}; \quad \bar{m}_{Q1} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}; \quad \bar{Q}_{n1} = \frac{Q_{n1}}{1 + \gamma_2}; \quad \gamma_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1}; \quad \gamma_2 = \frac{\lambda_2}{\mu_2};$$

$\gamma_1, \gamma_2$  – коэффициенты аварийности надбункерного и подбункерного конвейеров;  $\lambda_1, \mu_1$  и  $\lambda_2, \mu_2$  – параметры потоков отказов и восстановлений надбункерного и подбункерного конвейеров соответственно;

при  $m_Q \leq Q_{n1}$

$$m_{c1} = \left[ \frac{1 + \frac{(Q_{n1} - \bar{Q}_{n1})}{(\bar{Q}_{n1} - \bar{m}_{Q1})} (1 - e^{A_{21}\gamma V_1})}{1 + \gamma_2 e^{A_{21}\gamma V_1} + \frac{(Q_{n1} - \bar{Q}_{n1})}{(\bar{Q}_{n1} - \bar{m}_{Q1})} (1 - e^{A_{21}\gamma V_1})} \right] \bar{m}_{Q1}, \quad (3)$$



где  $A_{21} = \frac{\mu_2 [\bar{m}_{Q_1} (1 + \gamma_2) - Q_{n_1}]}{\bar{m}_{Q_1} (Q_{n_1} - \bar{m}_{Q_1})}$ .

Продолжая этот процесс  $n$  раз ( $n$  – количество бункеров в системе), приходим к рекуррентным формулам:

при  $m_Q > Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \frac{\left[ \frac{e^{A_{1i}\gamma V_i}}{\gamma_{\varepsilon_i}} + \frac{\bar{m}_{Q_i}}{(\bar{m}_{Q_i} - \bar{Q}_{n_i})} (e^{A_{1i}\gamma V_i} - 1) \right]}{\left[ 1 + \frac{e^{A_{1i}\gamma V_i}}{\gamma_{\varepsilon_i}} + \frac{\bar{m}_{Q_i}}{(\bar{m}_{Q_i} - \bar{Q}_{n_i})} (e^{A_{1i}\gamma V_i} - 1) \right]} \bar{Q}_{n_i}, \quad (4)$$

где  $A_{1i} = \frac{\mu_c [m_Q - (1 + \gamma_{\varepsilon_i}) \bar{Q}_{n_i}]}{(m_Q - \bar{Q}_{n_i}) \bar{Q}_{n_i}}$ ;  $\bar{m}_{Q_i} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_{\varepsilon_i}} = m_{c_{i-1}}$ ;  $\bar{Q}_{n_i} = \frac{Q_{n_i}}{1 + \gamma_{i+1}}$ ;

$\gamma_{\varepsilon_i} = \frac{m_Q}{m_{c_{i-1}}} - 1$ ;  $\gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ ; ( $i = 1, n$ ;  $m_{c_0} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}$ ;  $\mu_c = \mu_i$ );

при  $m_Q \leq Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \frac{\left[ 1 + \frac{(Q_{n_i} - \bar{Q}_{n_i})}{(\bar{Q}_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})} (1 - e^{A_{2i}\gamma V_i}) \right]}{\left[ 1 + \gamma_{i+1} e^{A_{2i}\gamma V_i} + \frac{(Q_{n_i} - \bar{Q}_{n_i})}{(\bar{Q}_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})} (1 - e^{A_{2i}\gamma V_i}) \right]} \bar{m}_{Q_i}, \quad (5)$$

где  $A_{2i} = \frac{\mu_c [\bar{m}_{Q_i} (1 + \gamma_{i+1}) - Q_{n_i}]}{\bar{m}_{Q_i} (Q_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})}$ ;  $\bar{m}_{Q_i} = m_{c_{i-1}}$ ;  $\bar{Q}_{n_i} = \frac{Q_{n_i}}{1 + \gamma_{i+1}}$ ; ( $i = 1, n$ ;

$m_{c_0} = \frac{m_Q}{1 + \gamma_1}$ ;  $\mu_c = \mu_i$ ).

При этом пропускная способность всей системы конвейерного транспорта с последовательным соединением бункеров определяется на  $n$ -ой итерации по формуле:

$$m_c = m_{c_n}, \quad (6)$$

где  $n$  – количество бункеров в системе.

Рассмотрим систему конвейерного транспорта с параллельным соединением бункеров (рис. 3).

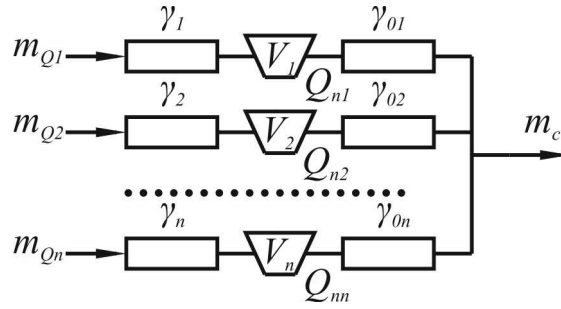


Рис. 3. Расчетная схема с параллельным соединением бункеров

Для этой системы, так же, как и в предыдущем случае, используя самоподобие ее структуры, получим рекуррентные соотношения

при  $m_{Q_i} > Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left[ \frac{\frac{e^{A_{1i}\gamma V_i}}{\gamma_i} + \frac{\bar{m}_{Q_i}}{(\bar{m}_{Q_i} - \bar{Q}_{n_i})} (e^{A_{1i}\gamma V_i} - 1)}{1 + \frac{e^{A_{1i}\gamma V_i}}{\gamma_i} + \frac{\bar{m}_{Q_i}}{(\bar{m}_{Q_i} - \bar{Q}_{n_i})} (e^{A_{1i}\gamma V_i} - 1)} \right] \bar{Q}_{n_i}, \quad (7)$$

где  $A_{1i} = \frac{\mu_c [m_{Q_i} - (1 + \gamma_i)\bar{Q}_{n_i}]}{(m_{Q_i} - \bar{Q}_{n_i})\bar{Q}_{n_i}}$ ;  $\bar{m}_{Q_i} = \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_i}$ ;  $\bar{Q}_{n_i} = \frac{Q_{n_i}}{1 + \gamma_{0i}}$ ;  $\gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$ ;

при  $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \left[ \frac{1 + \frac{(Q_{n_i} - \bar{Q}_{n_i})}{(\bar{Q}_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})} (1 - e^{A_{2i}\gamma V_i})}{1 + \gamma_{0i} e^{A_{2i}\gamma V_i} + \frac{(Q_{n_i} - \bar{Q}_{n_i})}{(\bar{Q}_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})} (1 - e^{A_{2i}\gamma V_i})} \right] \bar{m}_{Q_i}, \quad (8)$$

где  $A_{2i} = \frac{\mu_c [\bar{m}_{Q_i} (1 + \gamma_{0i}) - Q_{n_i}]}{\bar{m}_{Q_i} (Q_{n_i} - \bar{m}_{Q_i})}$ ;  $\bar{m}_{Q_i} = \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_i}$ ;  $\bar{Q}_{n_i} = \frac{Q_{n_i}}{1 + \gamma_{0i}}$ ;  $i = 1, n$ ;  $\mu_c = \mu_i$ .

При этом пропускная способность всей системы конвейерного транспорта с параллельным соединением бункеров определяется по формуле:

$$m_c = \sum_{i=1}^n m_{c_i}, \quad (9)$$

где  $n$  – количество бункеров в системе.

Для древовидной верной структуры соединения бункеров (рис. 4) среднее значение пропускной способности системы конвейерного транспорта определяется по тем же формулам (7) и (8), в которых значения коэффициентов аварийно-

сти  $\gamma_{0_i}$  надбункерных конвейеров заменяется значением коэффициента аварийности  $\gamma_0$  сборного конвейера ( $\gamma_{0_i} = \gamma_0, i = 1, n$ ).

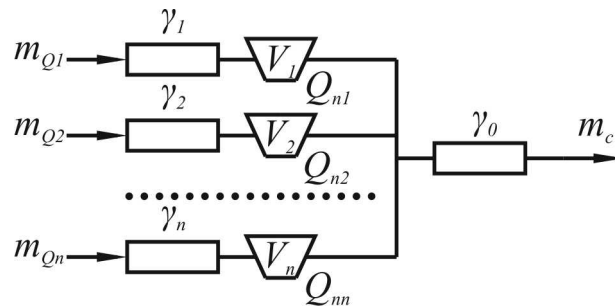


Рис. 4. Расчетная схема верхней структуры соединения бункеров

Рассмотрим систему конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с бункерами (рис. 5).

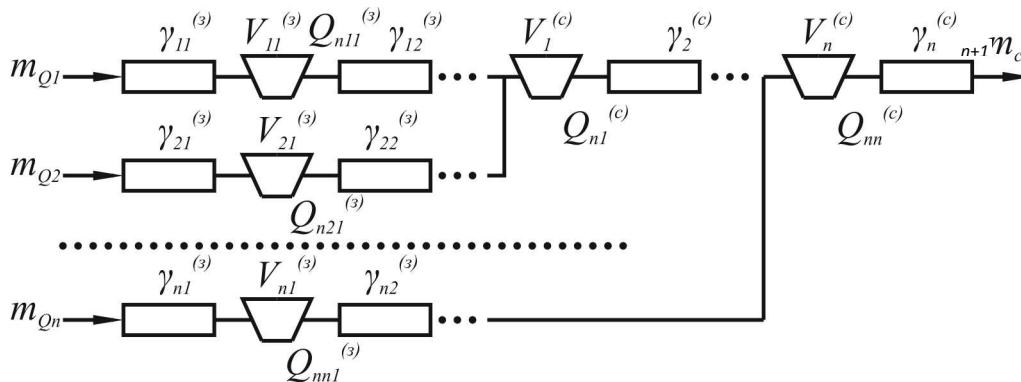


Рис. 5. Расчетная схема самоподобной древовидной структуры соединения бункеров

Для этой системы, используя так же, как и в предыдущих случаях, самоподобие структуры, получим рекуррентные соотношения, определяющие среднюю пропускную способность системы:

при  $m_{Q_i} > Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \frac{\left[ \frac{e^{A_{1i}\gamma V_i^{(c)}}}{\gamma_{\partial i}^{(c)}} + \frac{m_i^{(s)}}{(m_i^{(s)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})} \left( e^{A_{1i}\gamma V_i^{(c)}} - 1 \right) \right]}{\left[ 1 + \frac{e^{A_{1i}\gamma V_i^{(c)}}}{\gamma_{\partial i}^{(c)}} + \frac{m_i^{(s)}}{(m_i^{(s)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})} \left( e^{A_{1i}\gamma V_i^{(c)}} - 1 \right) \right]} \bar{Q}_{n_i}^{(c)}, \quad (10)$$

где  $A_{1i} = \frac{\mu_c \left[ m_i^{(s)} (1 + \gamma_{\partial i}^{(c)}) - (1 + \gamma_{\partial i}^{(c)}) \bar{Q}_{n_i}^{(c)} \right]}{\left[ m_i^{(s)} (1 + \gamma_{\partial i}^{(c)}) - \bar{Q}_{n_i}^{(c)} \right] \bar{Q}_{n_i}^{(c)}}; \quad \gamma_{\partial i}^{(c)} = \frac{\sum_{k=1}^i m_{Q_k}}{m_i^{(s)}} - 1;$

$m_i^{(s)} = m_{c_{i-1}} + \frac{m_{Q_i}}{1 + \gamma_{\varepsilon_i}^{(3)}}; \bar{Q}_{n_i}^{(c)} = \frac{Q_{n_i}^{(c)}}{1 + \gamma_{i+1}^{(c)}}; m_{c_0} = 0; \mu_c = \mu_i; i = 1, n; \gamma_i^{(c)}$  – коэффициенты аварийности стволовых путей с бункерами;  $\gamma_{\varepsilon_i}^{(c)}$  – эквивалентные коэффициенты аварийности стволовых путей с бункерами;  $\gamma_{\varepsilon_i}^{(3)}$  – эквивалентные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами;

при  $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$

$$m_{c_i} = \frac{\left[ 1 + \frac{(Q_{n_i}^{(c)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})}{(\bar{Q}_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})} \left( 1 - e^{A_{2i} \gamma V_i^{(c)}} \right) \right]}{\left[ 1 + \gamma_{i+1}^{(c)} e^{A_{2i} \gamma V_i^{(c)}} + \frac{(Q_{n_i}^{(c)} - \bar{Q}_{n_i}^{(c)})}{(\bar{Q}_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})} \left( 1 - e^{A_{1i} \gamma V_i^{(c)}} \right) \right]} m_i^{(s)}, \quad (11)$$

где  $A_{2i} = \frac{\mu_c \left[ m_i^{(s)} (1 + \gamma_{i+1}^{(c)}) - Q_{n_i}^{(c)} \right]}{m_i^{(s)} (Q_{n_i}^{(c)} - m_i^{(s)})}$ , ( $\mu_c = \mu_i; i = 1, n$ ).

Здесь эффективные коэффициенты аварийности забойных путей с бункерами определяются по формулам:

$$\gamma_{\varepsilon_i}^{(3)} = \frac{m_{Q_i}}{m_{c_i}^{(3)}} - 1, \quad (\gamma_{\varepsilon_1}^{(c)} = \gamma_{\varepsilon_1}^{(3)}, i = 1, n), \quad (12)$$

где  $m_{c_i}^{(3)}$  – средние пропускные способности  $i$ -го забойного пути системы конвейерного транспорта с бункерами, определяемые аналогично по формулам (4) и (5).

Средние пропускные способности забойных путей  $m_{c_i}^{(3)}$  определяются по формулам (4)–(6) для последовательного соединения забойных конвейеров с бункерами.

Для определения минимального и максимального значений пропускной способности рассмотренных выше систем конвейерного транспорта с бункерами положим в выше полученных рекуррентных формулах значения  $V_i = 0$  и  $V_i \rightarrow \infty$  соответственно для минимального и максимального значений.

На основании полученных аналитических выражений были проведены расчеты пропускной способности систем конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры с бункерами (см. рис. 5).

В таблицах 1 и 2 представлены исходные данные и показаны результаты расчета пропускной способности по формулам (10) и (11) для  $m_{Q_i} > Q_{n_i}$  и  $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$  соответственно.

Таблица 1

Исходные данные и результаты расчета пропускной способности в случае  
 $m_{Q_i} > Q_{n_i}$  ( $n=5; k_i = 5$ )

$m_{Q_i}$ , Т/МИН	$Q_{n_i}^{(c)}$ , Т/МИН	$Q_{n_i}^{(з)}$ , Т/МИН	$\gamma_i^{(c)}$	$\gamma_{ij}^{(з)}$	$\mu_i$ , 1/МИН	$V_i^{(c)}$ , М <sup>3</sup>	$V_{ij}^{(з)}$ , Т/МИН	$m_i^{(s)}$ , Т/МИН	$m_c$ , Т/МИН
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	3,14	4,42
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	4,56	
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	4,57	
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	4,48	
5,6	5,0	5,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	4,42	

Таблица 2

Исходные данные и результаты расчета пропускной способности в случае  
 $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$  ( $n=5; k_i = 5$ )

$m_{Q_i}$ , Т/МИН	$Q_{n_i}^{(c)}$ , Т/МИН	$Q_{n_i}^{(з)}$ , Т/МИН	$\gamma_i^{(c)}$	$\gamma_{ij}^{(з)}$	$\mu_i$ , 1/МИН	$V_i^{(c)}$ , М <sup>3</sup>	$V_{ij}^{(з)}$ , Т/МИН	$m_i^{(s)}$ , Т/МИН	$m_c$ , Т/МИН
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	4,28	20,69
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	8,53	
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	12,61	
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	16,75	
5,6	6,0	6,0	0,037	0,193	0,054	300,0	100,0	20,69	

Из таблиц 1 и 2 видно, что при  $m_{Q_i} \leq Q_{n_i}$  пропускная способность систем конвейерного транспорта в пять раз выше, чем при  $m_{Q_i} > Q_{n_i}$ .

Расчеты на основе полученных зависимостей показали, что с увеличением объемов аккумулирующих бункеров пропускная способность систем конвейерного транспорта любой структуры увеличивается, а при значениях объемов бункеров  $V_i^{(c)} \geq 500 \text{ м}^3$  и  $V_i^{(з)} \geq 500 \text{ м}^3$  пропускная способность практически не изменяется.

Кроме того, расчеты предельных оценок пропускной способности заданной системы конвейерного транспорта самоподобной древовидной структуры показали, что в случае  $m_{Q_i} = 5,6$  т/мин и  $Q_{n_i} = 5$  т/мин ( $m_{Q_i} > Q_{n_i}$ ) пропускная способность принимает минимальное значение  $m_{c \min} = m_c^{(0)} = 0,25$  т/мин при  $V_i^{(c)} = V_{ij}^{(3)} = 0$  и максимальное значение  $m_{c \max} = 4,82$  т/мин при  $V_i^{(c)} = V_{ij}^{(3)} = \infty$ .

При  $m_{Q_i} = 5,6$  т/мин и  $Q_{n_i} = 6$  т/мин ( $m_{Q_i} < Q_{n_i}$ ) пропускная способность принимает минимальное значение  $m_{c \min} = m_c^{(t)} = 8,72$  т/мин при  $V_i^{(c)} = V_{ij}^{(3)} = 0$  и максимальное значение  $m_{c \max} = 23,47$  т/мин при  $V_i^{(c)} = V_{ij}^{(3)} = \infty$ .

**Выводы.** На основе метода динамики средних для марковских процессов определена пропускная способность систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт с последовательным и параллельным соединением бункеров, а также с древовидной веерной и самоподобной структурами

При этом установлено, что если средние производительности поступающих из лав грузопотоков  $m_{Q_i}$  больше производительности питателей  $Q_{n_i}$  ( $m_{Q_i} \geq Q_{n_i}$ ), то пропускная способность системы конвейерного транспорта намного меньше пропускной способности в случае если  $m_{Q_i} < Q_{n_i}$ .

Кроме того, с увеличением объемов аккумулирующих бункеров до определенного значения пропускная способность систем конвейерного транспорта увеличивается, а при значениях объемов бункера свыше этого значения – практически не изменяется.

#### Список литературы

1. Кирия Р. В. Применение фракталов к определению пропускной способности систем конвейерного транспорта горных предприятий / Р. В. Кирия // Системні технології: Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2010. – Випуск 2(67). – С. 167–174.
2. Вентцель Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения: учебное пособие. 5-е изд. / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: КНОРУС, 2011. – 448 с.
3. Кирия Р. В. Адаптивное управление конвейерными линиями горных предприятий / Р. В. Кирия, В. Ф. Монастырский, В. Ю. Максютенко // Форум гірників–2011: Матеріали міжнарод. конф., 12–15 жовтня 2011 р. – Днепропетровск: Національний гірничий університет, 2011. – С. 87–95.
4. Исследование пропускной способности аккумулирующих бункеров системы подземного конвейерного транспорта угольных шахт / Р. В. Кирия, В. Ю. Максютенко, Д. Д. Брагинец, Т. Ф. Мищенко // Збірник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2013. – №41. – С. 89–97.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ширінім Л.Н.  
Надійшла до редакції 19.11.13*

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЛИЯНИЯ ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕПИ И ПОРОД ГОРНОГО МАССИВА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЫЕМОЧНОЙ ВЫРАБОТКИ В ЗОНЕ РАЗГРУЗКИ

Предлагается принципиально новый способ охраны повторно используемых выемочных выработок в зоне влияния очистных работ, в котором предусматривается применение вяжущего материала на базе цементно-минеральной смеси с податливыми опорами. Смоделировано геометрическое сечение выработки и элементы ее крепи. Приведены анализы зависимостей параметров крепи выработки и горно-геологических характеристик пород.

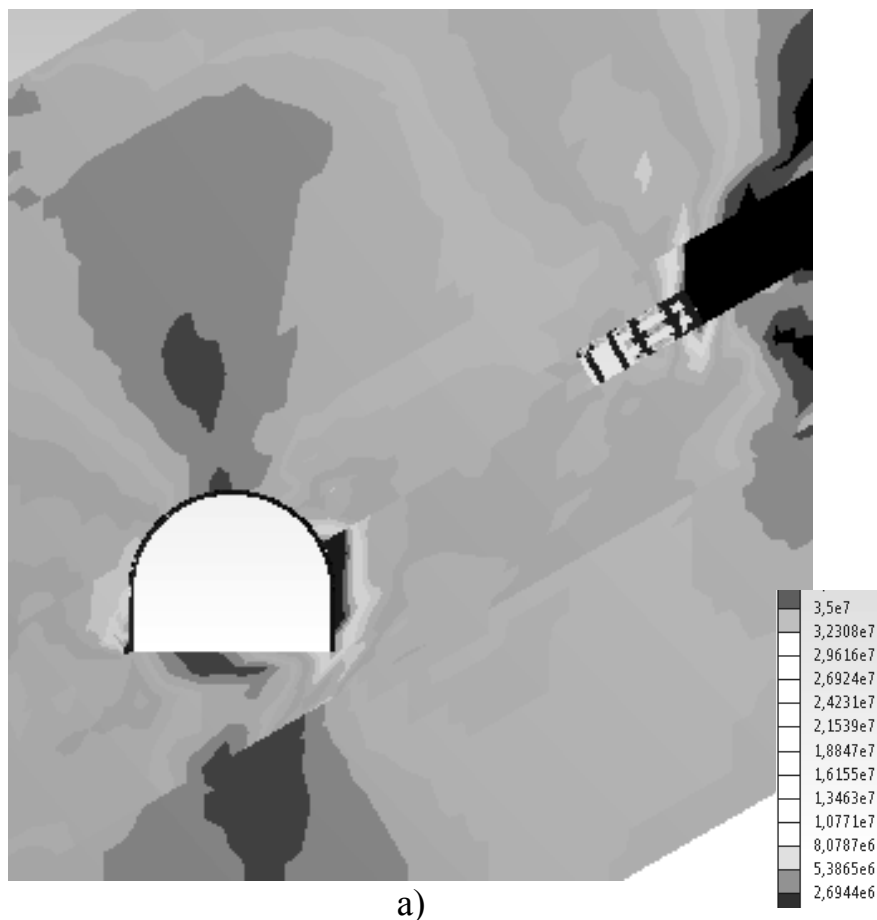
Пропонується принципово новий спосіб охорони повторно використовуваних виїмочних виробок в зоні впливу очисних робіт, в якому передбачається застосування в'язучого матеріалу на базі цементно-мінеральної суміші з податливими опорами. Змодельовано геометричний перетин виробки та елементи його кріплення. Наведені аналізи залежності параметрів кріплення виробки і горно-геологічних характеристик порід.

It's suggested principally new way of guarding re-utilized excavation workings in the zone under influence of refining works, where the application of binding material is foreseeing created on the base of cement-mineral mixture with pliant support. It's modeled the geometrical cross section of workings and elements of its support. Analyses are given depending on parameters of support for workings and mining geological characteristics of rocks.

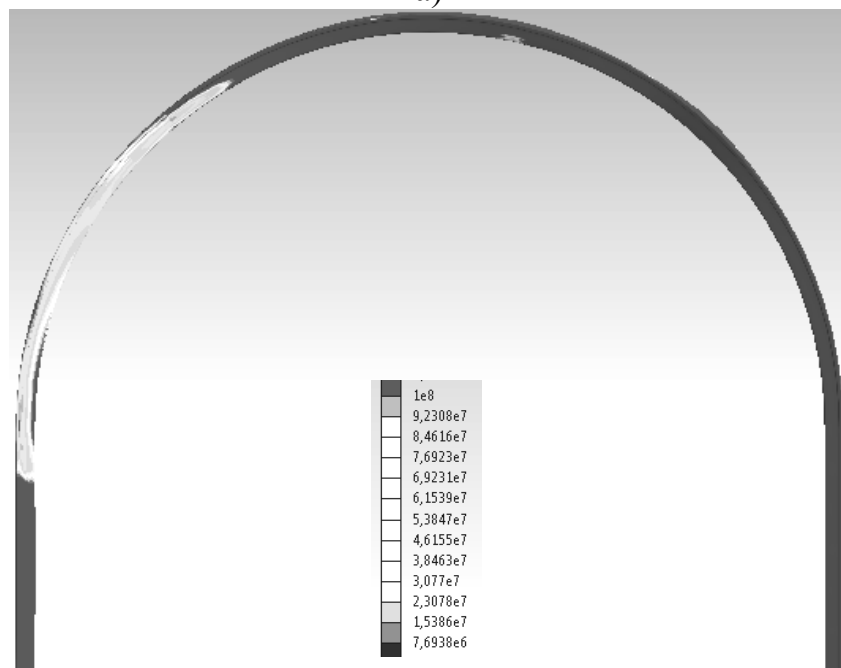
**Актуальность работы.** Применение любой технологии поддержания и охраны горных выработок требует проведения ряда экспериментальных исследований, целью которых является выявление особенностей совместимости разработанной системы крепления и реальных горно-геологических характеристик горного массива [1]. Наиболее подходящим, с учетом себестоимости и возможности варьирования параметров взаимодействия крепи и пород горного массива, является вычислительный эксперимент [2]. При проведении вычислительных экспериментов при решении задач геомеханики широкое распространение получило применение метода конечных элементов [3]. Основная идея, которого состоит в возможности разбиения расчетного объекта на конечное число элементов, ограниченных «простыми» геометрическими поверхностями.

**Постановка проблемы.** Предлагается принципиально новый способ охраны повторно используемых выемочных выработок в зоне влияния очистных работ, в котором предусматривается применение вяжущего материала на базе цементно-минеральной смеси с податливыми опорами. Для проведения анализа зависимостей параметров крепи выработки и горно-геологических характеристик пород были выполнены расчеты состояний выемочных выработок на шахтах «Золотое» (угольный пласт  $m_3$ ), «Карбонит» (пласт  $k_8^B$ ) и «Первомайская» (пласт  $k_6$ ) ГП «Первомайскуголь». Высота моделей расчетной области составляла от 40 до 62 м в зависимости от моделируемого угла падения породных слоев. Ширина моделей для всех вариантов расчета составила 30 м. Сечение выработки и элементы ее крепи геометрически моделировались на основе паспортов крепления применяемых на шахтах Алмазно-Марьевского района. Для организации и анализа эффективности разработанного метода охраны выемочных выработок был проведен так называемый первичный расчет для условий шахты

«Первомайская». С использованием рамной крепи, а также в качестве охранной конструкции целика шириной 6м, органичной крепи и деревянного костра, полученная модель представлена на рис. 1.



а)



б)

Рис. 1. Эпюры интенсивности напряжений в расчетной модели с оставлением целика над выемочной выработкой (а) и в раме (б) для условий шахты «Первомайская».



**Анализ полученных результатов.** Анализ представленной на рис. 1, а эпюры интенсивности напряжений позволяет однозначно утверждать, что целик обеспечивает уменьшение размеров зоны концентраций напряжений по контуру выработки. При этом рамная крепь (см. рис. 1, б) испытывает напряжения близкие к предельным практически по всему объему модели (до 77 %), а моделирование узлов податливости не позволяет снизить эти напряжений в зоне сопряжений верхней части рамной крепи и правой стойки. Основная зона концентрации напряжений, для данного варианта расчета, в приконтурном горном массиве располагается в правом боку выработки и ограничивается сверху угольным целиком, а снизу областью примыкающей к опорной площадке правой стойки рамной крепи. Зона концентрации напряжений в левом боку выработки локализована в породах примыкающих к нижней части левой стойки рамной крепи. Ширина этой зоны не превышает 150 мм в то время как ширина зоны концентрации напряжений в правом боку выработки превышает полметра (580 мм). Величины концентрации напряжений в правом и левом боку соответственно составляют 6 и 3 относительно напряжений получаемых на периферийных участках расчетной модели. Третья зона концентрации напряжений располагается в районе охранных конструкций. Концентрация напряжений в ней составляет до 4,5 раза и максимальные линейные размеры достигают 290 мм. В целом все зоны концентрации напряжений находятся вне пределов взаимного влияния, что естественным образом снижает абсолютные значения напряжений в приконтурном горном массиве.

Сравним полученные результаты расчетов для рамной крепи, представленные на рис. 1, б и рис. 2, Основным различие НДС рамной крепи в первом и втором случае является максимум интенсивности напряжений 274 МПа и 192 МПа, соответственно. В первом расчете, относительно второго расчета, левая стойка и верхний сегмент рамной крепи, нагружены существенно больше, соответственно на 18 % и 22 %. В целом удельная энергия деформаций, на соответствующих участках модели рамной крепи, в среднем выше на 15 – 20 %. а напряжения свыше 240 МПа охватывают более 35 % объема этой модели и в трех зонах полностью перекрывают поперечное сечение, что указывает на вероятность образования пластических шарниров.

Таким образом, предложенная схема охраны выемочной выработки (рис. 3.3, в) однозначно обеспечивает снижение нагрузки на рамную крепь, до 11 %, относительно схемы с использованием целиков. Во всех вариантах расчета органный крепь и деревянный костер находятся в состоянии близком к предельному. Но только для случая, представленного на рис. 2, а, примыкающие к ним сверху породы сохраняют исходную степень сопротивления горному давлению. Следовательно, угол падения не является определяющим фактором при переходе пород в предельное и запредельное состояние. На основании совместного анализа представленных на рис.3 зависимостей следует сделать вывод о том, что рассматриваемая схема поддержания выемочной выработки наиболее эффективно работает в диапазоне от 17° и до 32°. На это указывает наиболее оптимальное, с точки зрения прочностных показателей, соотношений напряжений

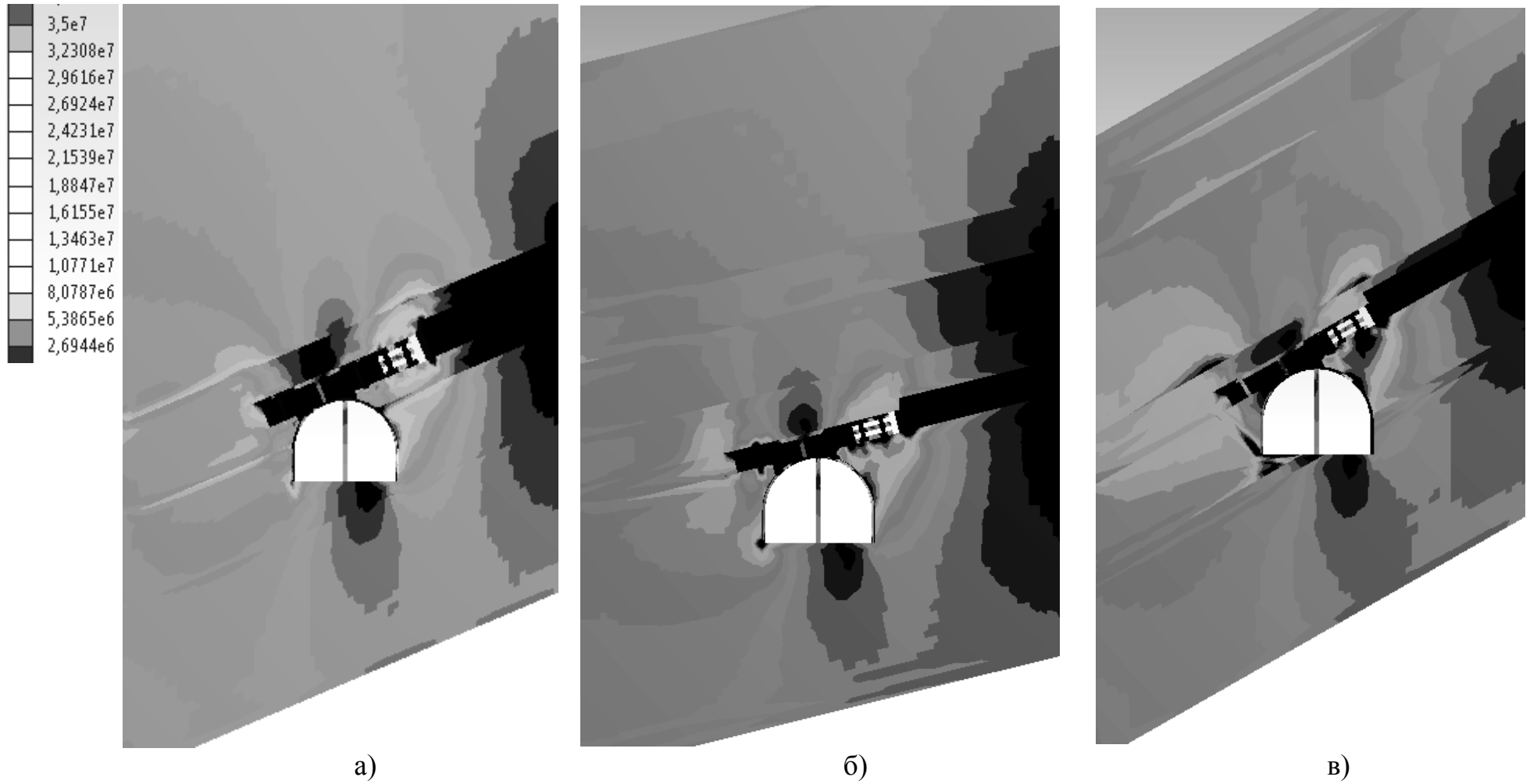


Рис. 2. Эпюры интенсивности напряжений полученные для горно-геологических условий шахт:  
а) «Золотое»; б) «Карбонит»; в) «Первомайская».

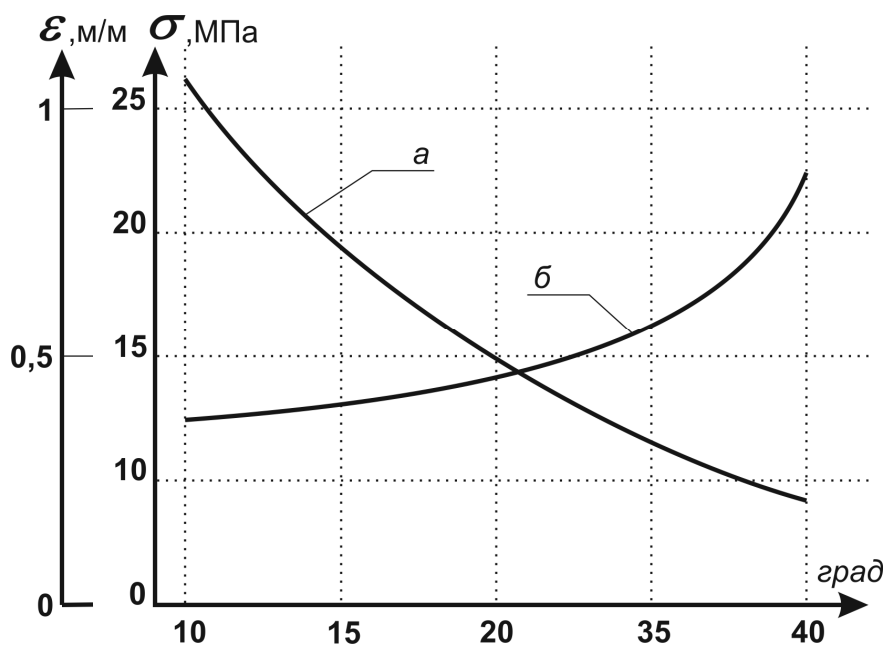


Рис. 3. Графики зависимости изменения максимумов интенсивности напряжений  $\sigma_{\text{int}}$  в левой стойке инвентарной крепи (а) и величины деформации в кровле разгрузочной зоны (б).

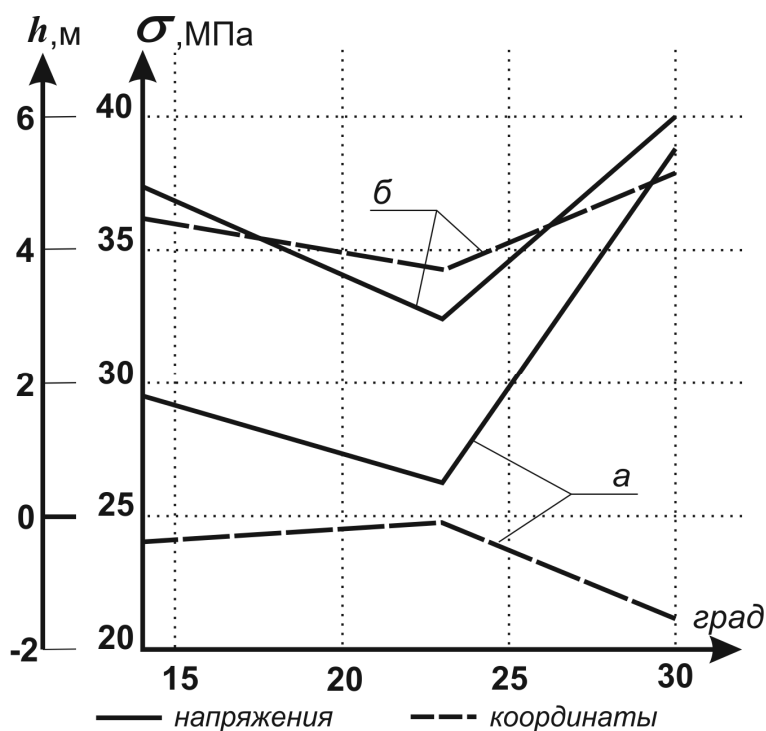


Рис. 4. Изменение максимума интенсивности напряжений  $\sigma_{\text{int}}$  и вертикальной координаты его расположения относительно почвы выработки для левого (а) и правого (б) боков выемочной выработки.

и деформаций. С увеличением угла падения расчетная система «крепь выработки – горный массив» все больше переходит в предельное и запредельное состояние, что в значительной степени повышает вероятность обрушения кровли

разгрузочной зоны. Исходя из этого, становится критически важным рассмотрению условий формирования параллельных трещин в боках выемочной выработки при данной схеме поддержания [4].

Рассмотрим состояние левого и правого боков выработки в комплексе, с применением сравнительного анализа. Первый и основной вывод, который позволяет сделать анализ эпюр напряжений на рис. 3.3, заключается в ощутимом влиянии на НДС этих областей геологической структуры горного массива.

Для детального анализа рассмотрим диаграммы, представленные на рис. 4. По характеру диаграмм видно, что величина горного давления и местоположение его очагов относительно выемочной выработки наиболее сбалансировано в случае расчета с углом падения  $23^\circ$  (см. рис 2, а) – в рассматриваемых зонах имеют место слабые концентрации напряжений и их воздействие на крепь сосредотачивается в зонах контакта левой и правой стойки крепи. Фактически наличие породного слоя малой мощности в своде выработки, под разгрузочной зоной, обеспечивает выравнивание показателей горного давления в ее левом и правом боках. Следовательно, происходит перераспределение напряжений в глубину горного массива, результатом чего становится повышение устойчивости свода выработки [4].

Наличие границы породных слоев в нижней части выработки (см. рис. 2, в) приводит к формированию зоны повышенного горного давления в нижней части левого бока выемочной выработки. Учитывая абсолютные значения напряжений в этой зоне (см. рис. 3.5) и ее геометрию, следует сделать такое заключение – в этом варианте НДС системы создаются условия по формированию вывала пород левого бока выработки. Исходя из опыта расчетов полученного в рамках данной исследовательской работы следует увеличить ширину зоны разгрузки путем извлечения угля в сторону падения на  $0,3...0,7$  м. Это должно привести к снижению коэффициента концентрации напряжений до уровня  $29...32$  МПа.

В целом графики, приведенные на рис. 4, показывают, что наличие влияния прохождения границы породных слоев через контур выемочной выработки не приводит к коренному изменению тенденции развития зон разупрочнения вокруг выработки, то есть при построении тренда изменения НДС системы «крепь - массив» относительные отклонения для напряжений в среднем составляют 9 %, а для деформаций – 6 %. Тем не менее, как показано выше, минимизация этого влияния может быть осуществлена путем увеличения размеров разгрузочной зоны или установкой дополнительных элементов крепи в боку выработки по восстанию.

**Заключение.** В результате проведения анализа зависимостей параметров крепи выработки и горно-геологических характеристик пород выявлено, что предложенная схема охраны выемочной выработки с использованием быстротвердеющего материала обеспечивает снижение нагрузки на рамную крепь до 11 %, относительно схемы с использованием целиков. На основании совместного анализа зависимостей следует, что рассматриваемая схема поддержания выемочной выработки наиболее эффективно работает в диапазоне от  $17^\circ$  и до  $32^\circ$ .

#### Список литературы

1. Методы и средства решения задач горной геомеханики / Г.Н. Кузнецов, К.А. Ардашев, Н.А. Филатов и др. – М.: Недра, 1987. – 248 с.
2. Булычев Н.С., Проектирование и расчет крепи капитальных выработок. / Булычев Н.С., Фотиева Н.Н., Стрельцов Е.В. – М.: Недра, 1986. – 288 с.
3. Бате К. Численные методы анализа и метод конечных элементов./ Бате К., Вилсон Е. - М.: Стройиздат, 1982. - 448 с.
4. Конопелько Е.В. Осесимметричная деформация многослойного упругоизотропного полупространства с цилиндрической выемкой, подкрепленной жестким включением // Проблемы механики подземных сооружений. – Л.: ЛГИ, 1978. – С. 100-103.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бондаренком В.І.  
Надійшла до редакції 19.11.13*

УДК 622.271

© А.А. Бондаренко

### **РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО КЛАССИФИКАТОРА**

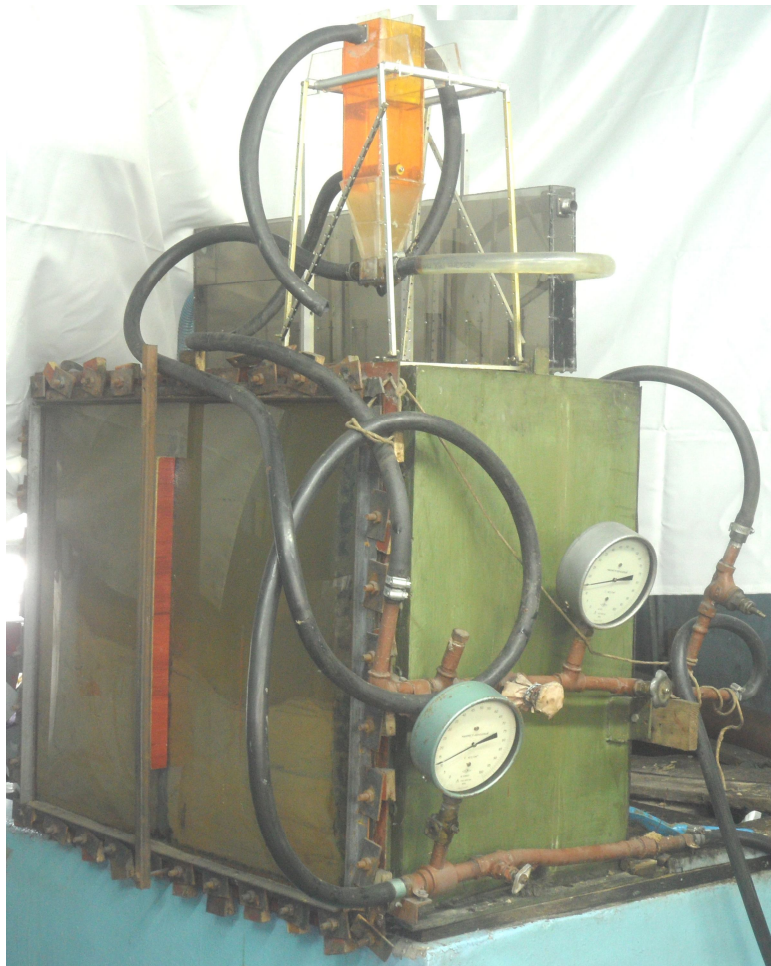
Разработана лабораторная установка для обоснования конструктивных и режимных параметров горизонтального классификатора путем лабораторного изучения процесса гравитационной переработки зернистых материалов с применением лабораторной базы в составе: классификатора горизонтального многосекционного КГМ, струйного питателя, системы подачи воды, стандартной запорной арматуры и контрольно-измерительных устройств.

Розроблена лабораторна установка для обґрунтування конструктивних і режимних параметрів горизонтального класифікатора шляхом лабораторного вивчення процесу гравітаційної переробки зернистих матеріалів з використанням лабораторної бази у складі: класифікатора горизонтального багатосекційного КГБ, струменевого живильника, системи подачі води, стандартної запірної арматури і контрольно-вимірювальних пристроїв.

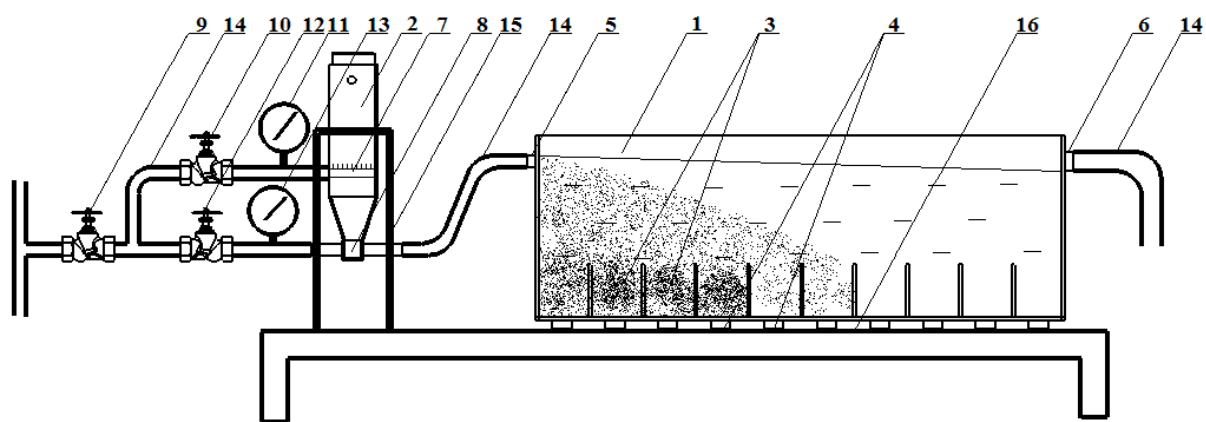
A laboratory fluidizer is developed ground of structural and regime parameters of horizontal classifier by the laboratory study of the grainy materials gravity processing process with the use of laboratory base in composition: horizontal classifier, stream supplier, system of water serve, standard plug-forming armature and control and measuring devices.

Разделение мелкозернистых материалов традиционно выполняется в гравитационных аппаратах с горизонтальным движением несущего потока: горизонтальные классификаторы, дешламаторы, спиральные классификаторы, декантаторы, горизонтальные отстойники и др. В работе выполнено лабораторное изучение процесса гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном классификаторе, с применением нестандартного лабораторного оборудования в составе классификатора горизонтального многосекционного КГМ и струйного питателя. Это позволит выполнить обоснование конструктивных и режимных параметров горизонтального классификатора.

Лабораторное оборудование для изучения процессов гравитационной переработки зернистых материалов устроено на базе применения классификатора горизонтального многосекционного КГМ. Лабораторная установка на базе классификатора КГМ, состоит из классификатора горизонтального многосекционного 1, струйного питателя 2, системы подачи воды (рис. 1).



а)



б)

Рис. 1. Лабораторная установка для исследования гравитационной переработки зернистых материалов на базе КГМ: а) общий вид установки; б) принципиальная схема установки

**Классификатор горизонтальный многосекционный** представляет собой удлиненный сосуд прямоугольного сечения 1, в нижней части разделенный на 12 отсеков 3, оборудованных разгрузочными патрубками 4. Питание осуществляется через приемный патрубок 5, слив шлама через сливной патрубок 6.

**Струйный питатель 2** предназначен для приготовления пульпы заданных параметров и подачи ее в приемный патрубок 5 классификатора горизонтального многосекционного 1. Приготовление пульпы в струйном питателе 2 выполняется путем подачи воды через гребенку с оросительными форсунками 7, транспортирование приготовленной пульпы осуществляется посредством струйного насоса 8. Для водоснабжения гребенки 7 и струйного насоса 8 применяют систему подачи воды.

**Система подачи воды** состоит из сетевого вентиля 9, регулировочного вентиля 10 и манометра 11 системы водоснабжения оросительной гребенки 7, регулировочного вентиля 12 и манометра 13 системы водоснабжения струйного насоса 8. Транспортирование воды и шлама выполняется по гибким патрубкам 14. Оборудование установлено на опорных рамах 15, 16.

Источником воды для работы лабораторного оборудования является водопроводная сеть.

Для выполнения необходимых замеров применено следующее оборудование:

1. Манометр прецизионный типа МЗМ с ценой деления 0,005 кгс/см<sup>2</sup> (класс точности 0,6);
2. Цилиндр лабораторный объемом 1 литр с ценой деления 2 мл;
3. Секундомер "Агат" с ценой деления 0,5 с.
4. Весы ВНЦ-2, цена деления 2 г, ТУ 25-06-2068-82.
5. Весы РН-10Ц13М, цена деления 5 г, ГОСТ 7327-55.
6. Сито лабораторное СЛ-200 с ячейкой 0,1 мм, 0,2 мм, 0,315 мм, 0,4 мм, 0,5 мм, 0,63 мм, 1,25 мм, 2,5 мм.
7. Встряхиватель лабораторный Усманского завода литейного оборудования.
8. Шкаф сушильный.

Основные конструктивные характеристики лабораторной установки определены в результате предварительных расчетов с применением известных зависимостей. При осаждении зернистого материала, движущегося в горизонтальном потоке пульпы (рис. 2), зависимость основных величин можно выразить в виде формулы [1–3]

$$L_{oc} = \frac{v_q \cdot H_{oc}}{\omega_q},$$

где  $L_{oc}$  – дальность перемещения частицы по горизонтали, м;  $H_{oc}$  – глубина погружения частицы, м;  $v_q$  – скорость потока пульпы, м/с;  $\omega_q$  – гидравлическая крупность частицы, м/с.

Достаточный диапазон скоростей движения пульпы в классификаторе горизонтальном многосекционном, при питании из водопроводной сети, для пе-

переработки зернистого материала крупностью  $-5+0,1$  мм, получен при следующих параметрах проточной части КГМ: длина 1000 мм, ширина 50 мм, высота 200 мм (рис. 1).

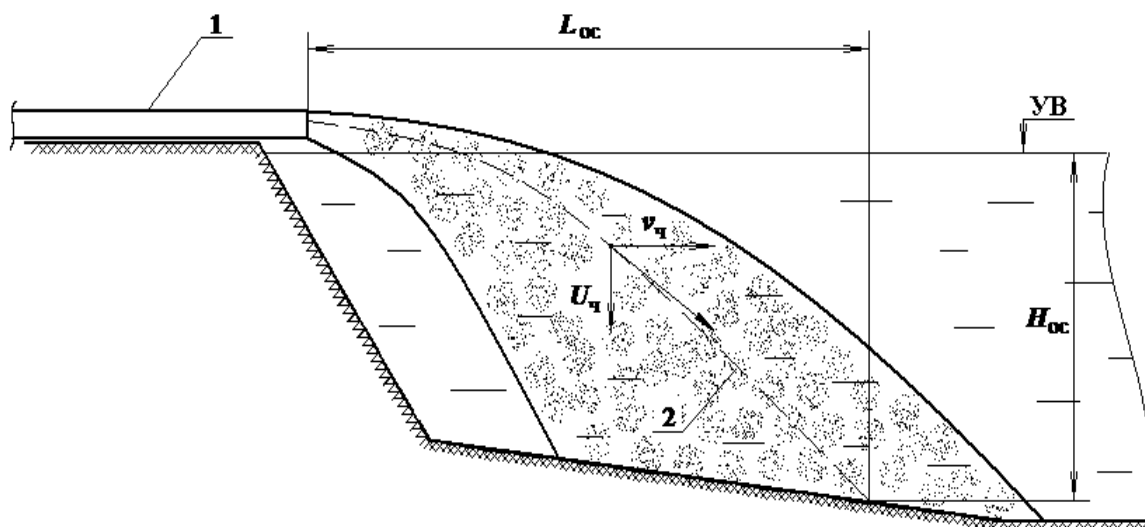


Рис. 2. Схема осаждения частиц в горизонтальном потоке:  
1 – сливной трубопровод; 2 – траектория движения частиц

Диаметры приемного 5, сливного 6, гибких патрубков 14 приняты из условия пропуска максимального расхода воды.

Для обеспечения приемлемой достоверности данных лабораторных исследований перед началом выполнения экспериментов оборудование было тарировано в требуемом диапазоне. Тарированию подлежала система подачи пульпы, приготовленной в струйном питателе, струйным насосом к классификатору КГМ. Тарировка выполнялась в два этапа:

1 – тарировка манометра, то есть определение зависимости показаний манометра струйного насоса от производительности пульпы, подаваемой к классификатору;

2 – тарировка контрольных отверстий, то есть определение концентрации подаваемой пульпы в зависимости от номера отверстия.

Экспериментальные исследования процесса гравитационной переработки зернистых материалов предназначены для решения следующих актуальных задач:

- предварительное визуальное изучение процесса гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном потоке несущей среды для разработки физической модели;
- изучение закономерностей поведения зернистого материала при его разделении на классы в ходе гравитационной переработки в горизонтальном потоке пульпы;
- получение экспериментальных данных и определение численных значений эмпирических коэффициентов, составляющих математической модели процесса гравитационной переработки зернистых материалов;
- качественная и количественная оценка влияния концентрации зернистого материала в исходной пульпе на процесс его классификации;



- оценка влияния процесса гравитационной переработки на гранулометрический состав конечного продукта. Оценка эффективности процесса;
- разработка рекомендаций для обоснования рациональных конструктивных и режимных параметров классификаторов гидравлических горизонтальных.

Исследования процесса гравитационной переработки с применением классификатора КГМ при питании струйным питателем (рис. 1) проводили в следующей последовательности.

Открывали вентиль сети и регулировочные вентили системы водоснабжения, подавали воду к оросительной гребенке струйного питателя и струйному насосу. Давление в системе водоснабжения контролировали манометрами и поддерживали установленное положение. Заполняли водой проточные полости классификатора КГМ и соединительных патрубков. Полное заполнение контролировали наличием слива воды из классификатора. Порцию контрольного зернистого материала (песка) засыпали в питатель и через контрольное отверстие распределенным потоком подавали в приемный бункер струйного питателя. Приготовленная при помощи оросительной гребенки пульпа струйным насосом подавалась в приемный патрубок классификатора КГМ. Выполняли визуальное наблюдение за процессом классификации зернистого материала в горизонтальном потоке и его осаждения в отдельных отсеках. Расход пульпы определяли объемным методом. Полученные значения заносили в журнал исследований. Процесс классификации останавливали после завершения приготовления и подачи пульпы струйным питателем. Подачу воды к оросительной гребенке и струйному насосу прекращали.

Цикл эксперимента завершали путем извлечения зернистого материала из первых 6 камер через разгрузочные патрубки. Извлеченный материал подвергали сушке и дальнейшему рассеву по классам. С этой целью применяли сита лабораторные с размером ячейки: 0,1, 0,2, 0,315, 0,4, 0,5, 0,63, 1,25, 2,5 мм. Полученные значения заносили в журнал исследований. После завершения эксперимента цикл замеров повторяли с новой порцией зернистого материала.

Цикл эксперимента завершали путем извлечения зернистого материала из пескового бункера через разгрузочный патрубок. Извлеченный материал подвергали сушке и дальнейшему рассеву по классам. Полученные значения заносили в журнал исследований.

Для выполнения лабораторных исследований, процесса гравитационной переработки зернистых материалов в горизонтальном потоке, принимали следующие типы зернистых материалов:

- а) песок природный речной, средняя крупность частиц  $d_{cp}=0,33$  мм;
- б) песок природный речной классифицированный, крупность частиц 0,4...0,5 мм, 0,315...0,4 мм, 0,2...0,315 мм, –0,2 мм. Классификация песка выполнена с применением сит лабораторных СЛ-200.

Эксперименты с песком природным речным  $d_{cp}=0,33$  мм выполняли в 15 циклов замеров с применением пяти контрольных отверстий. Таким образом, рассев по классам выполнен для 90 порций материала.

Експерименти с природним речним класифіцированим песком, проведены в следующем объеме:

- а) 0,4...0,5 мм – 6 циклов, обработано 18 порций материала;
- б) 0,315...0,4 мм – 10 циклов, обработано 50 порций материала;
- в) 0,2...0,315 мм, 6 циклов, обработано 36 порций материала;
- г) –0,2 мм – 5 циклов, обработано 40 порций материала.

В ходе экспериментальных исследований по гравитационной переработке зернистых материалов всего было выполнено 36 циклов, при этом было обработано 153 порции зернистого материала.

**Вывод.** Разработанное лабораторное оборудование в составе: классификатора горизонтального многосекционного КГМ, струйного питателя, системы подачи воды, стандартной запорной арматуры и контрольно-измерительных устройств позволяет с приемлемой достоверностью изучать процессы гравитационного осаждения твердых частиц в горизонтальном потоке с целью обоснования конструктивных и режимных параметров горизонтального классификатора.

#### Список литературы

1. Нурок Г.А. Процессы и технология гидромеханизации открытых горных работ : учебник для вузов / Г.А. Нурок.–3-е изд., перераб. и доп.–М.: Недра, 1985.–471 с.
2. Симоненко В.І. Екологізберігаючі технологічні рішення з подальшої розробки флюсових вапняків на ВАТ “Балаклавське рудоуправління ім. О.М. Горького” / В.І. Симоненко, А.О. Бондаренко, В.Д. Кірнос, А.І. Богданець, В.В. Гафіулов. – Вісник ЖДТУ. Технічні науки.-2006.-№III(38).-С.176-182.
3. Ялтынец И.М. Экологически рациональная технология формирования гидроотвалов // Вопросы теории открытых горных работ / И.М. Ялтынец.-М.: Издательство МГГУ, 1994.-С.254-272.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бондаренком В.І.  
Надійшла до редакції 29.10.13*

УДК 622.271

© Б.Ю. Собко, В.В. Дроздов, О.В. Дроздов

## **ГІРНИЧО-ГЕОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ КАР’ЄРНОГО ПОЛЯ ЄРИСТІВСЬКОГО РОДОВИЩА ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ**

Розроблено алгоритм та проведений гірничо-геометричний аналіз кар’єрного поля Єристовського родовища залізистих кварцитів.

Разработан алгоритм и выполнен горно-геометрический анализ карьерного поля Еристовского месторождения железистых кварцитов.

An algorithm is developed and the gorno-geometrical analysis of the quarry field of Eristovskogo of deposit of ferrous quartzites is executed.

Однією з вимог функціонування гірничо-видобувного підприємства в сучасних умовах є переорієнтація виробничих процесів на ресурсозберігаючі технології та комплексне використання природних ресурсів. У зв'язку з цим все бі-

льший розвиток в практиці гірничо-геологічних завдань отримують комп'ютерні методи обробки геологічних даних родовищ корисних копалини з метою подальшого їх застосування при проведенні перспективного та календарного планування гірничих робіт. Таким чином, розробка алгоритму проведення гірничо-геометричного аналізу кар'єрного поля родовища є актуальною задачею.

В геологічному відношенні Єристівське родовище розташоване в лівобережній частині Середнього Придніпров'я. Родовище займає площу біля 3 км<sup>2</sup> та є безпосереднім продовженням Лавриківського у північному напрямі і межує з покладами Беланівських залізистих кварцитів (рис. 1). Відстань від родовища до міста Комсомольськ (Полтавська обл.) становить 8 км. За 6 км на південь Єристівського кряжу протікає річка Дніпро, а три кілометри на захід – її лівий приток річка Псьол.

Розробка корисних копалин на даній ділянці проводиться в складних гідрогеологічних умовах, чому сприяє високе обводнення території родовища.



Рис. 1. Розподіл Кременчуцької магнітної аномалії на окремі родовища

Розвідка Єристівського родовища залізистих кварцитів була проведена в 1977–1980 рр. Запаси корисної копалини затверджені у ГКЗ згідно «ТЕО постійних кондицій», виконаного інститутом «Южгіпроруда» у 1979 році. У результаті техніко-економічного аналізу Єристівського родовища інститутом рекомендовано відкритий спосіб розробки крутопадаючих пластів до глибини 500 м.

Для розробки алгоритму проведення гірничо-геометричного аналізу кар'єрного поля використовуємо лінійний метод на поперечних геологічних перетинах, який запропонований проф. Хохряковим В.С. [10].

Вихідними даними при використанні відміченого методу служать поперечні геологічні перетини, на яких нанесені контури кар'єра та лінії горизонтів.

Варіант розвитку гірничих робіт, що розглядається, на Єристівському кар'єрі характеризується лінією напрямку розвитку гірничих робіт та лініями робочих бортів кар'єру зі сторони лежачого та висячого бортів, які проводяться від центру розрізної траншеї на кожному горизонті під кутами робочих бортів.

Площі гірничої маси, розкривних порід та корисної копалини для кожного етапу знаходяться окремо зі сторони лівого та правого бортів як площі трапецій.

Площа гірничої маси для етапу зі сторони правого борту знаходиться згідно формули:

$$S_n = l * h_c, \text{ м}^2; \quad (1)$$

де  $l$  – довжина середньої лінії шару зі сторони правого борту;  $h_c$  – товщина цього похилого шару.

Довжину середньої лінії шару  $l$  визначаємо з геологічного перетину, згідно масштабу. Товщина шару  $h_c$  також може бути виміряна, але с грубим приближенням. Більш точно вона може бути визначена згідно формули:

$$h_c = h \frac{\sin(\alpha \pm \gamma_p)}{\sin \alpha} = h * \Delta, \text{ м}; \quad (2)$$

де  $\alpha$  – кут лінії напрямку розвитку гірничих робіт, град.;  $\gamma$  – кут укосу робочого борту кар'єра, град.;  $\Delta$  – коефіцієнт поправок.

Якщо кут між лініями направлення поглиблення і укосу робочого борту більше  $90^\circ$ , то в формулі приймається плюс, якщо менше  $90^\circ$ , то мінус.

З урахуванням коефіцієнту поправок  $\Delta$  площа гірничої маси (порід розкриву та корисної копалини) знаходиться по формулі:

$$S_{z.m.} = l_{z.m.} * h * \Delta, \text{ м}^2; \quad (3)$$

Послідовність проведення розрахунків при гірничо-геометричному аналізу наступна.

В алгоритм розрахунку вводяться наступні вихідні дані:

- глибина шару  $h_c$ ;
- кут напрямку поглиблення  $\alpha$ ;
- кут нахилу робочого борту  $\gamma$ ;
- довжина середньої лінії  $l$  (для корисної копалини  $l_n$  та для розкривних порід  $l_p$ ).

Наступний етап заключається у визначенні поправочного коефіцієнту  $\Delta$ . Він залежить від кута між лінією напрямку поглиблення –  $\omega$  та лінією укосу

робочого борту. Якщо  $\omega > 90^\circ$ , то  $\Delta = \frac{\sin(\alpha + \gamma)}{\sin(\omega)}$ , в іншому разі в чисельнику приймається знак “–”.

Далі знаходиться окремо для лівого та правого бортів площа порід розкриву та корисної копалини з урахуванням коефіцієнту поправок за формулою (1).

Після цього знаходиться окремо  $\sum S_{g(n.u.)}^{(n)}$  – сума площі порід розкриву та корисної копалини зі сторони лівого та правого бортів відповідно,  $\text{м}^2$  та сума площі порід розкриву і корисної копалини по двох бортах –  $\sum S_{g(n.u.)}$ ,  $\text{м}^2$ .

На наступному етапі знаходиться поточний коефіцієнт розкриву –  $k_{тек}$ . Якщо  $S_n > 0$ , то  $k_{тек} = S_g / S_{n.u.}$ . Якщо  $S_n < 0$ , то  $k_{тек} = \dots$  і т.д. Надалі знаходиться середній коефіцієнт розкриву  $k_{ср}$ , як сума всіх поточних коефіцієнтів віднесена до їх кількості.

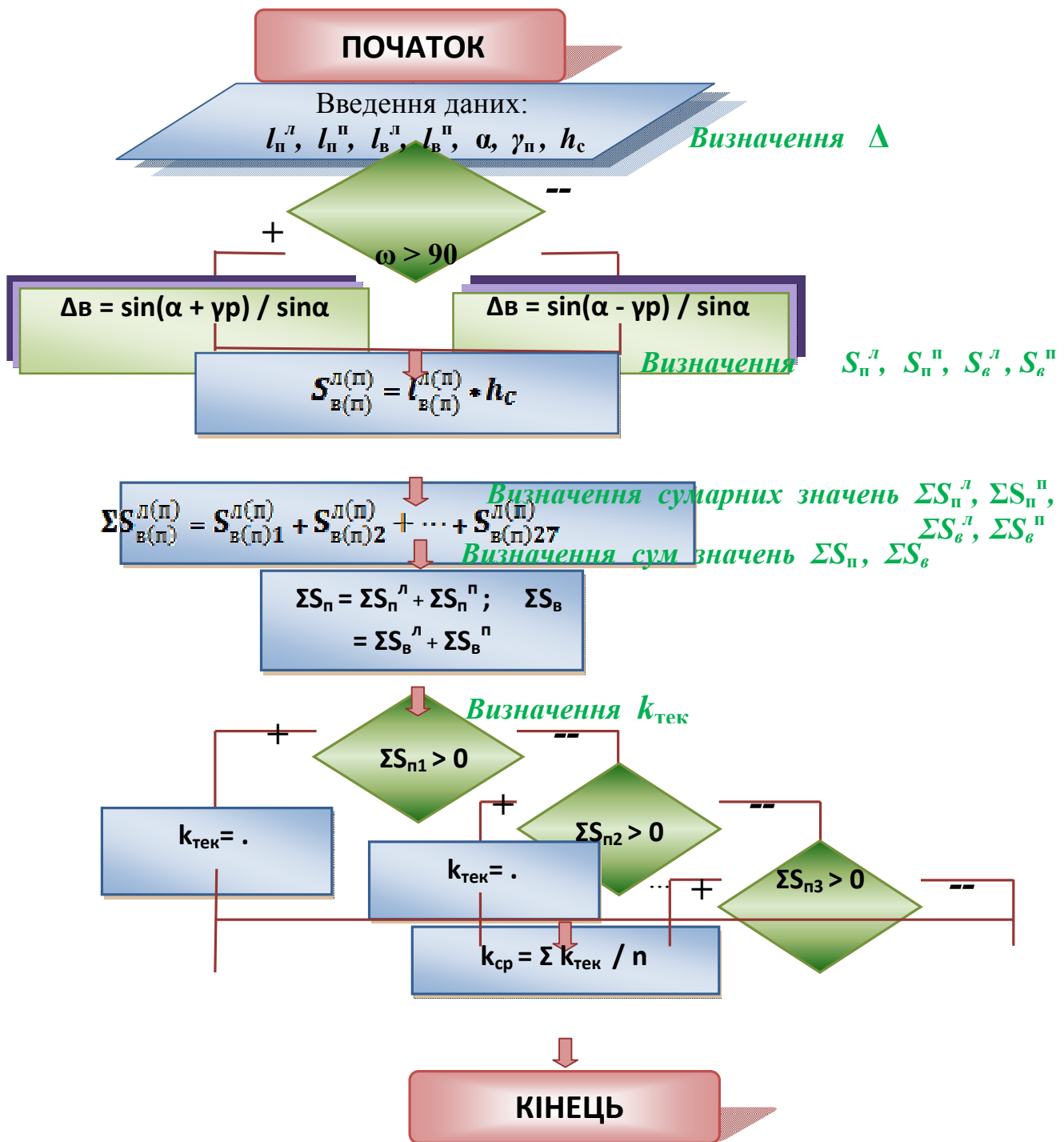


Рис. 2. Блок-схема алгоритму розрахунку гірничо-геометричного аналізу на поперекових перетинах

Завершальним етапом являється побудова графіків залежності:

- площі розкривних порід та корисної копалини від глибини кар'єру зі сторони правого борту;
- площі розкривних порід та корисної копалини від глибини кар'єру зі сторони лівого борту;
- площі розкривних порід та корисної копалини від глибини кар'єру для двох бортів;
- поточного та середнього коефіцієнтів розкриву від глибини кар'єру.

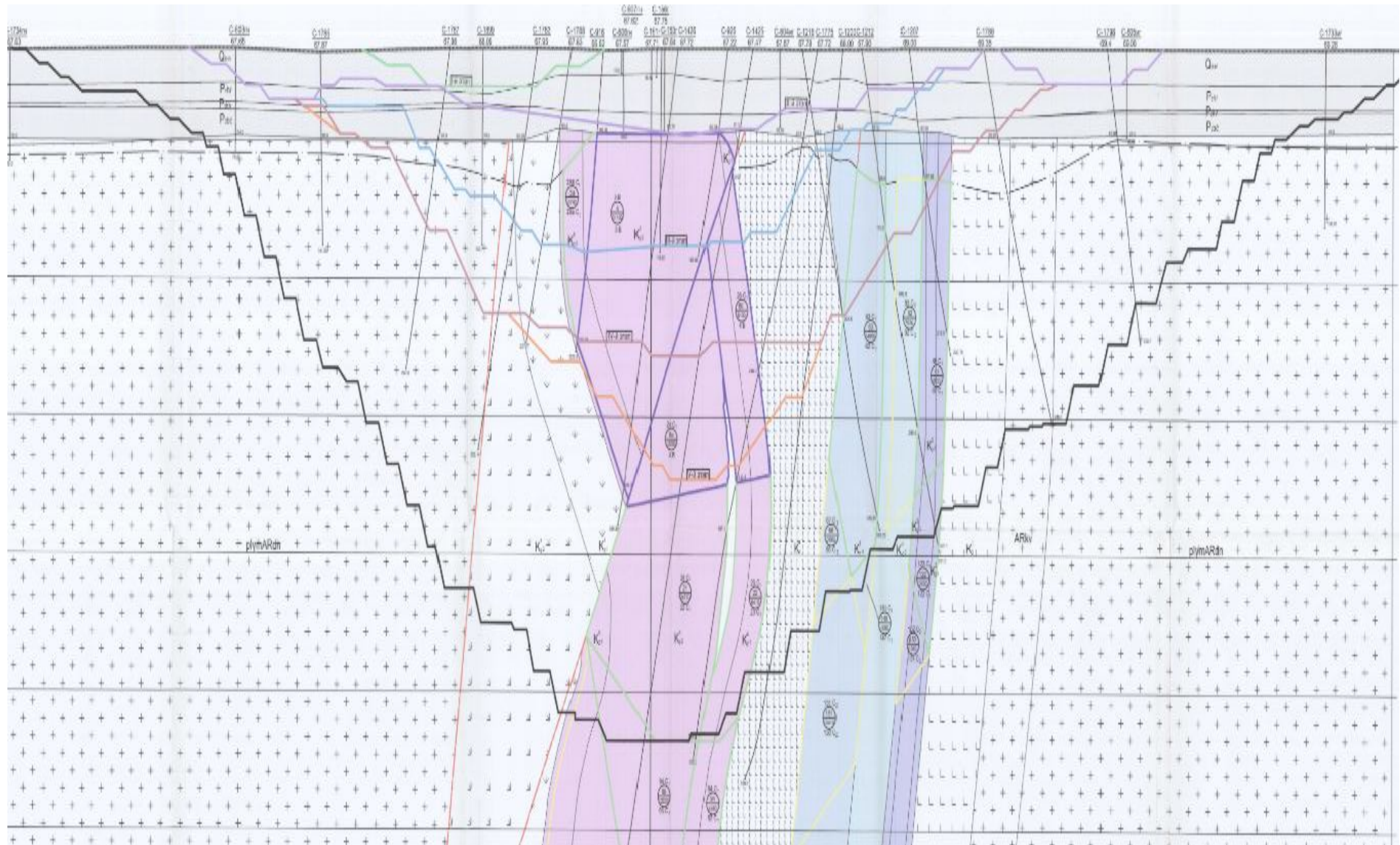


Рис. 3. Розріз Єристівського кар'єру за 48-м профілем

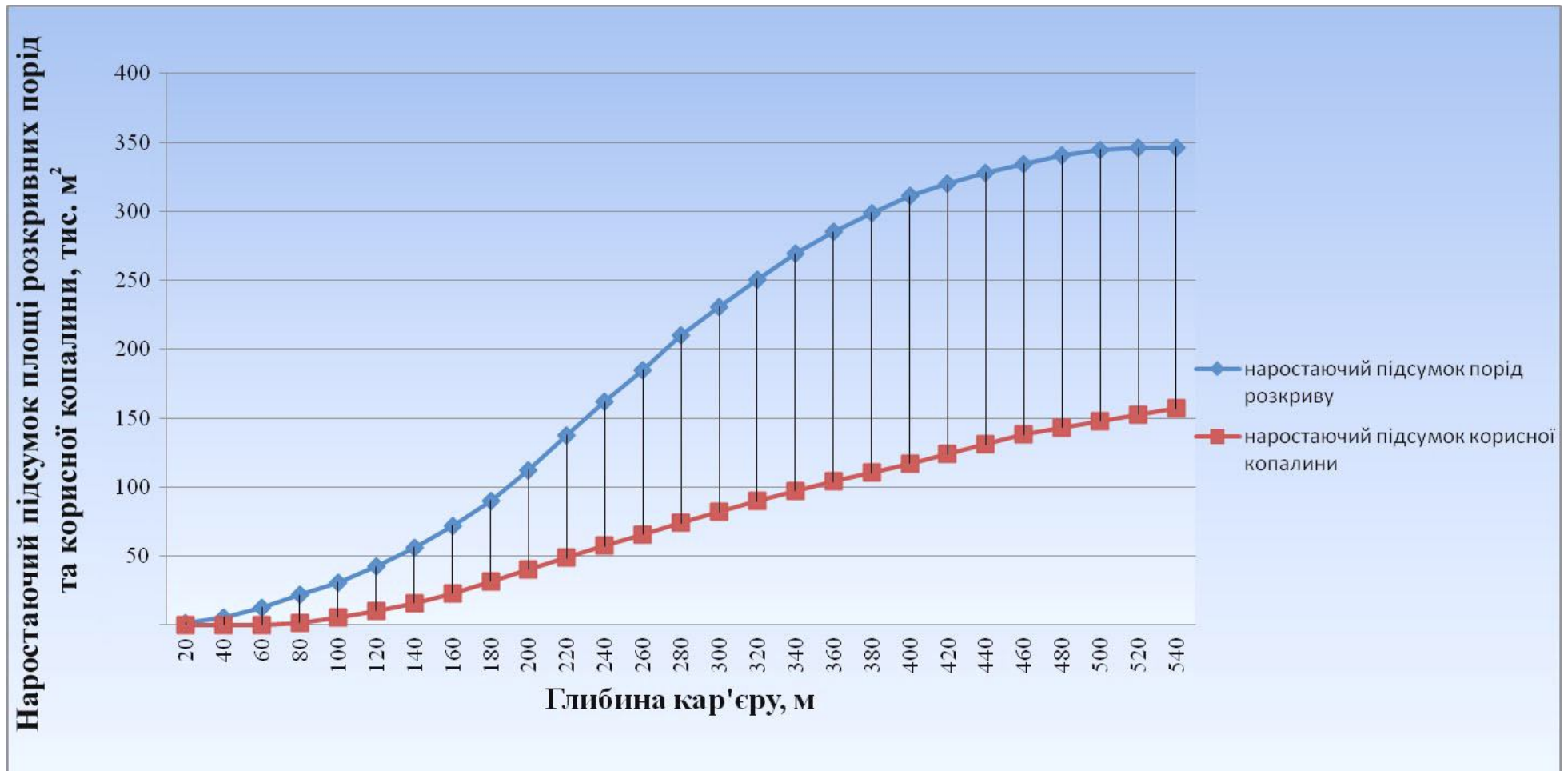


Рис. 4. Залежність площі порід розкритву та корисної копалини від глибини кар'єру по двох бортах

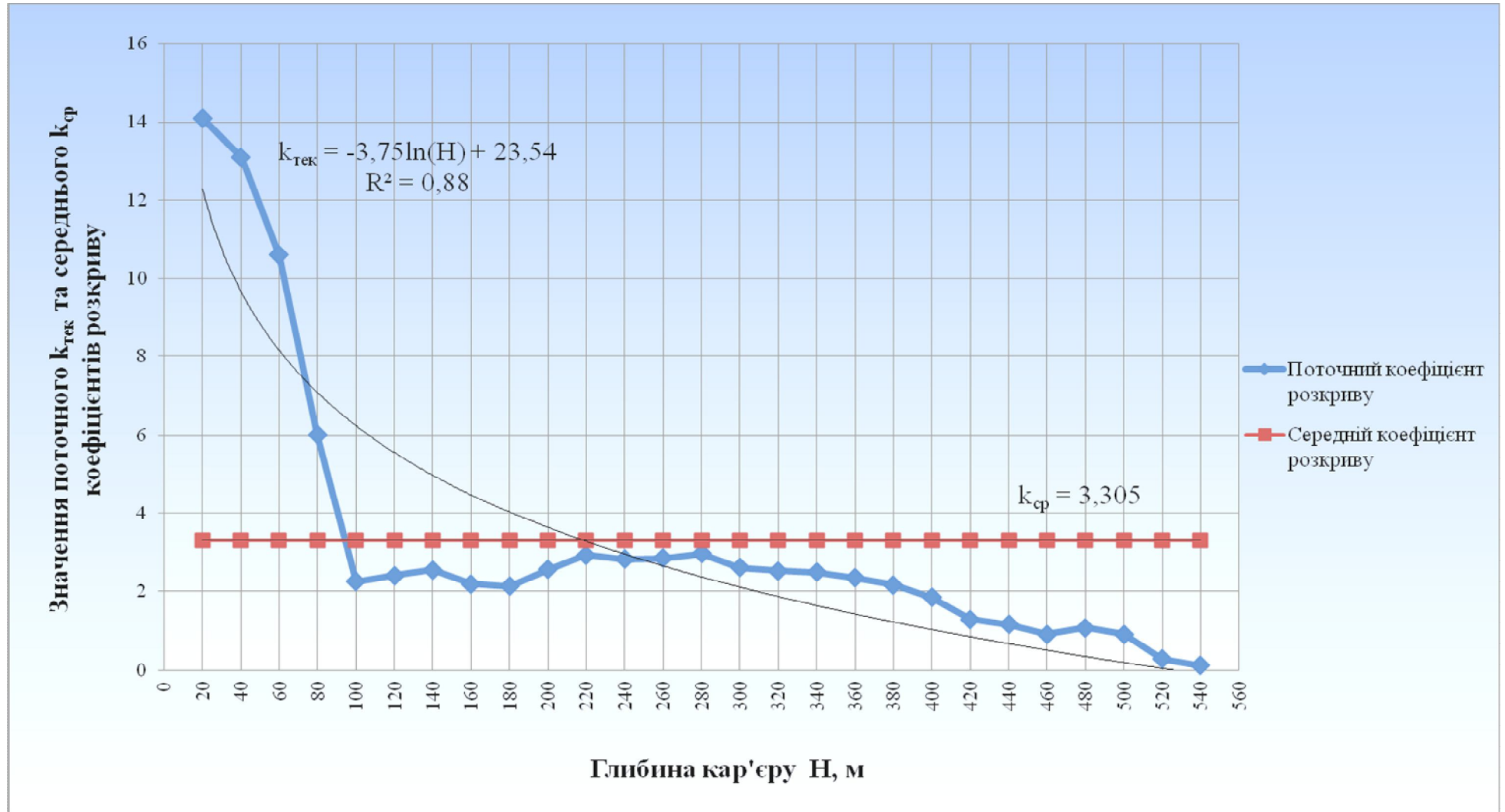


Рис. 5. Залежність поточного та середнього коефіцієнтів розкриву від глибини кар'єру по двох бортах



Алгоритм гірничо-геометричному аналізу реалізовано у вигляді програми розрахунку в середовищі Excel. Блок-схема алгоритму розрахунку представлена на рис 2.

Гірничо-геометричний аналіз виконувався за даними розрізу по профілю № 48 (рис. 3). Загальна глибина кар'єру складає 540 м, глибину шару було прийнято однаковою для всіх етапів, вона склала  $h_c = 20$  м. Кут нахилу робочого борту також було прийнято однаковий  $\gamma_n = 15^\circ$ . Всі інші вихідні дані для розрахунку знаходились із даних розрізу масштабу 1:2000.

Результати гірничо-геометричного аналізу кар'єрного поля наведені на рис. 4 та рис. 5. На рис. 4 зображена залежність усереднених показників площі порід розкриву та корисної копалини від глибини кар'єру по двох бортах.

З даних наведених на графіку рис. 4 видно, що залежність площі порід розкриву та корисної копалини від глибини кар'єру зростає прямо пропорційно з майже рівною інтенсивністю, при цьому поклади залізних кварцитів починаються з глибини 80 м.

На рис. 5 зображено залежність поточного та середнього коефіцієнтів розкриву від глибини кар'єру.

Графічні дані рис. 5 показують, що поточний коефіцієнт розкриву найбільший на початку розробки і становить 14,1 та різко зменшується до глибини 100 м і становить 2,25.

На глибині кар'єру приблизно 95 м поточний коефіцієнт розкриву рівний середньому значенню коефіцієнта розкриву - 3,305, а після глибини 95 м – менший середнього, на глибині від 100 м до 400 м змінюється в проміжку 2,0 - 3,35, після глибини кар'єру більш як 400 м поточний коефіцієнт розкриву має значення менше 2.

Завдяки апроксимації даних, представлених на рис. 5, було отримано рівняння логарифмічної залежності поточного коефіцієнту розкриву від глибини кар'єру:  $k_{тек} = -3,75 \cdot \ln(H) + 23,54$ , яке досить точно описує дану залежність. Свідченням цьому являється коефіцієнт детермінації -  $R^2 = 0,88$ , який представляє собою квадрат коефіцієнта кореляції між значеннями змінної  $H$  –глибини кар'єру та значеннями  $k_{тек}$ . Статистичний сенс коефіцієнта детермінації полягає в тому, що він показує, яка частка залежної змінної  $k_{тек}$  пояснюється побудованою функцією регресії  $k_{тек}(H)$ . В нашому випадку, при коефіцієнті детермінації 0,88 регресійна модель пояснює 88,0 % дисперсії критеріального показника, інші ж 12% вважаються зумовленими чинниками, не відображеними в моделі.

Список літератури:

1. Хохряков В. С. Проектирование карьеров.– 2е изд., перераб. и доп.– М.: Недра, 1980. – 336с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В.І.  
Надійшла до редакції 29.10.13*

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОРОЖНИН РОЗШАРУВАННЯ НАД ПІДЗЕМНИМ ГАЗОГЕНЕРАТОРОМ

В статті представленні результати дослідження формування порожнини розшарування при підземній газифікації буровугільного пласта. На основі проведених досліджень розроблений спосіб підготовки підземного газогенератора з урахуванням параметрів формування вигазованного простору і порожнин розшарування порід покрівлі.

В статье представлены результаты исследования формирования полости расслоения при подземной газификации буровугельного пласта. На основе проведенных исследований разработан способ подготовки подземного газогенератора с учетом параметров формирования вигазованного пространства и полостей расслоения пород кровли.

The results of investigation the cavity forming at underground brown coal gasification are presented. On the basis of the conducted researches the method of underground gasifier preparation is developed taking into account the parameters of goaf forming and cavities in rocks of roof.

**Вступ.** Обвалення порід в підземному газогенераторі відбувається під дією двох чинників. Первинним чинником є гірський тиск, що має місце в період будівництва і експлуатації підземного газогенератора. Другий чинник – це висока температура процесу газифікації вугільного пласта, що має місце в період експлуатації газогенератора. Ці два чинники приводять до руйнування порід покрівлі і підшви вигазовуваного пласта. Опір обпеченої безпосередньої покрівлі вигину, після першого обвалення, рівний нулю. Цей факт говорить про те, що під впливом гірського тиску породи покрівлі, ще до спікання, втрачають суцільність.

**Мета статі.** Дослідити параметри формування порожнин розшарування в породах покрівлі над вигазованим простором підземного газогенератора при газифікації буровугільного пласта.

**Основна частина.** Для визначення параметрів порожнин розшарування порідної товщі над підземним газогенератором прийняті гірничо-геологічні умови буровугільного пласта мазкі БЗ, родовища Legnica Polnoc (Польща): глибина залягання – 102 м, потужність пласта – 4 м, вологість – 25–27 %, фільтраційна здатність 0,26–0,31 Дарсі, очікуваний сумарний приплив води у вигазований простір підземного газогенератора 4,3–8,5 м<sup>3</sup>/г.

Покрівля пласта представлена брекчією, лесами, глинами та прошаруванням бурого вугілля. Газопроникність надвугільної товщі складає 0,11–0,24 Дарсі. Підшва пласта представлена пісками які складають 11,2–16,4 % всієї порідної товщі та глини і прошарувань бурого вугілля із загальною фільтраційною здатністю 0,18–0,27 Дарсі.

При свердловинній підземній газифікації буровугільного пласта, мазкі БЗ потужністю 4 м, породи безпосередньої покрівлі у вогневому вибої підземного газогенератора піддаються впливу високих температур. Величина температури газифікації буровугільного пласта змінюється по довжині реакційного каналу.

Максимум температур (1050–1200 °С) спостерігається на межі переходу окислювальної зони у відновлювальну (рис. 1).

Породи нижнього шару покрівлі, по довжині вогневого каналу, схильні до різної термопружної напруги. Така ж ситуація спостерігається і у вигазованному просторі.

При визначенні напружено-деформованого стану порід покрівлі підземного газогенератора слід враховувати потужність шару золи  $m_3$ , що залишився у вигазованному просторі після газифікація. Таким чином висота зони обвалення при газифікації вугільного пласта може бути визначена з виразу:

$$h_{об} = \frac{m - h_0 - m_3}{(K_p + K_c) - 1} \text{ м};$$

де  $m$  – виймальна потужність пласта, м;  $m_3$  – потужність шару золи, м;  $h_0$  – межа вільного опускання покрівлі, м;  $K_c$  – середній коефіцієнт спучення порід;  $K_p$  – коефіцієнт розпушування порід.

Коефіцієнт розпушування порід покрівлі при вигазовуванні буровугільного пласта залежить від потужності вугільного пласта і структури порід, від потужності шару золи а також наявності в покрівлі і підшві пласта порід схильних до спучення при високих температурах. Хімічний склад порід вміщуючих порід наступний:  $\text{SiO}_2$  – 75,8 %;  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$  – 0,29 %; С – 0,88 %. Враховуючи коефіцієнти спучення  $K_B$  і розпушення  $K_p$  порід підшви і покрівлі вугільного пласта,  $K_B=1,32-1,54 > K_p=1,12-1,15$ , можна оцінити ступінь заповнення вигазованного простору.

Вигозовування буровугільного пласта відбувається по потужності з випередженням верхньої частини пласта по відношенню до нижньої, що створює умови впорядкованого обвалення порід, зважаючи на поступовий розвиток деформацій які збільшуються у міру газифікації вугільного пласта. Деформації порід при підземній газифікації неістотно відрізняються від традиційного способу видобування і характеризуються відсутністю нижньої зони упорядкованого обвалення порід покрівлі.

Горизонтальні переміщення шаруватого масиву залежать від потужностей шарів порід і шару золи, що підтверджується інструментальними спостереженнями в шахтних умовах а також при експлуатації та розкритті підземних газогенераторів і коливається в межах 0,05–0,3м. Такі зсуви породних шарів можуть викликати труднощі при експлуатації свердловин підземного газогенератора, оскільки свердловини при горизонтальних зміщеннях породних шарів можуть бути зрізані і виведені з ладу.

У роботах, присвячених пружним властивостям гірських порід, при впливі високих температур в ході лабораторних і стендових досліджень встановлена зміна щільності гірських порід під впливом високотемпературного прогрівання. В результаті досліджень відмічено збільшення об'єму порід на 1–5 % від первинного, при цьому модуль пружності змінюється на 5–18 %. Внаслідок термодинамічних навантажень, з підвищенням температур, модуль деформації (E) змінюватиметься по лінійному закону (Рис. 1).

У подальших розрахунках напружено-деформованого стану нижньої порідної пачки безпосередньої покрівлі слід враховувати зміни модуля пружності.

Коефіцієнт пружності змінюватиметься з урахуванням поправки коефіцієнта температурної дії  $K_T=1,05-1,4$ .

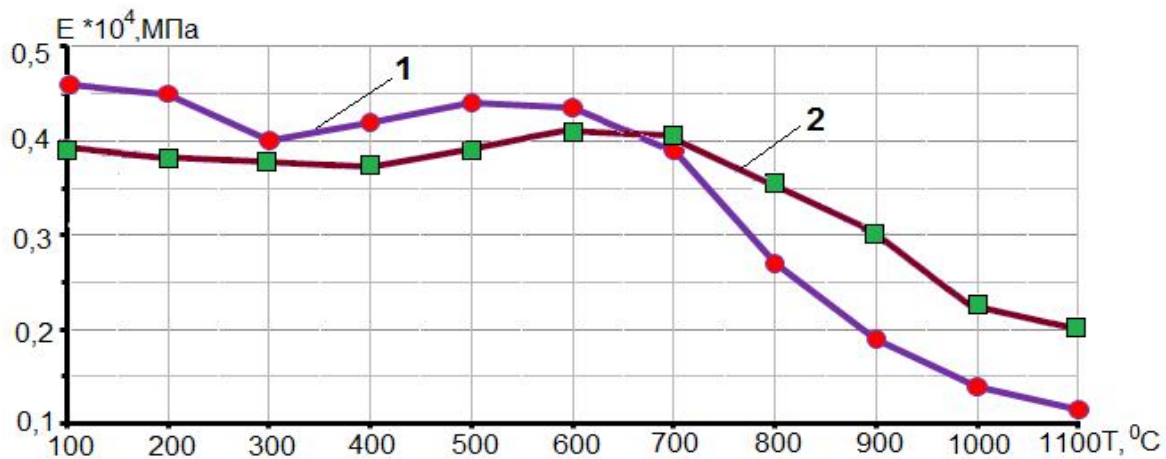


Рис. 1. Зміна модуля деформації (E) шару порід (0,3-0,45 м від вогневого вибою) залежно від ступеню прогріву нижнього шару безпосередньої покрівлі і підшви буровугільного пласта, 1 – глина, 2 – леси

Причинами руйнування порідного шару є нормальні навантаження, сили тертя, що вигинають момент і напругу від поперечних сил. Напруга від моменту (G), сил тертя ( $t_{тр}$ ) і дотичні від поперечних сил ( $\phi_{зр}$ ) знаходяться з виразів:

$$G_{сж} = \frac{12 \cdot E_0 \cdot M_x}{E_n \cdot K_T h^3} \cdot m_H \cdot y; (0 < y < m_H \cdot h);$$

$$G_p = \frac{12 \cdot E_0 \cdot M_x}{E_n \cdot K_T h^3} \cdot (1 - m_H) \cdot y; (0 < y < (1 - m_H) \cdot h);$$

$$S = \frac{(S_2 - S_n) \cdot (a + d_0 - x)}{a + d_0} + S_n, \text{ при } a \leq x \leq (a + d_0),$$

$$S = \frac{S_2 \cdot x}{a}, \quad 0 \leq x \leq a, \quad t_{тр} = \frac{\Delta x \cdot S}{a + d_0}, \quad \tau_{узг} = \frac{a \cdot x}{K_T \cdot h}.$$

Сумарна напруга (G) визначається з урахуванням напруги викликаних розпором. Напруга із знаком (-) стискає, а із знаком (+) розтягує.

$$G_y = S + (\Delta G_{сж} \cdot G_p); \quad G_x = \Delta S + (G_{сж} \cdot G);$$

$$\tau_{xy} = t_{тр}$$

Стан порід шару визначається по головній напрузі ( $G_1 G_2$ ) і по критерію опору порід одноосному стисненню (SPR)

$$G_1 \cdot G_2 = \frac{G_x + G_y}{2} \pm \sqrt{(G_x + G_y)^2 - 4\tau_{xy}^2};$$

$$\tau_{max} = \frac{G_1 - G_2}{2}$$

$$SPR = \frac{1}{2x} \sqrt{[1 - \psi] \cdot (G_1 - G_2)]^2 + \psi \cdot (G_1 - G_2)^2 - (1 - \psi) \cdot (G_1 - G_2)}.$$

Умови руйнування порід покрівлі перевіряються:  $SPR > R_{зж}$  і  $\tau_{\max} > R_{зж}$ .

Поперечні сили над серединою підземного газогенератора відсутні, нормальні навантаження незначні, а стан порід масиву залежить від моменту, що викликає напругу по нашаруванню ( $\lambda G_{зж}$ ,  $\lambda G_p$ ) і перпендикулярно йому ( $G_{зж}$ ,  $G_p$ ). За рахунок власної ваги і вигинаючого моменту, в порідному шарі виникає напруга на відрив перпендикулярно нашаруванню.

Згідно прийнятої фізичної моделі і розрахунковій схемі, визначаються напруги в різних перетинах породного шару, поперечні сили  $Q_x$  і вигинаючий момент  $M_x$ , з виразів:

$$Q_x = B_{1k} \cdot \sin \frac{\pi}{L} x + B_{1k} \cdot \sin \frac{2\pi}{L} x;$$

$$M_x = 0,16 \cdot L \cdot [B_{1k} \cdot (\cos \frac{\pi}{L} x + \sin \frac{\pi}{L} x - 1) + \frac{B_{2k}}{2} \cdot (\cos \frac{2\pi}{L} x + \sin \frac{2\pi}{L} x - 1)].$$

Утворення вертикальних тріщин визначається по деформаціях порід через горизонтальні переміщення  $N_x$  розраховані для двох суміжних перетинів з виразів:

$$N_x = 1,2 \cdot \frac{L^2}{K_T h_{cl} \cdot f(k)} \cdot \left( B_{1k} \cdot \sin \frac{\pi}{L} x + \frac{B_{2k}}{4} \cdot \sin \frac{2\pi}{L} x \right); \quad \xi = \frac{(N_2 - N_1)}{(x_2 - x_1)} \cdot 1000.$$

Опускання породного шару  $Y_x$  визначаються з виразу:

$$Y_x = 0,4 \cdot \frac{L^3}{K_T h_{cl}^3 \cdot F(k)} \cdot [B_{1k} \cdot (\cos \frac{\pi}{L} x - 1) + \frac{B_{2k}}{8} \cdot (\cos \frac{2\pi}{L} x - 1)].$$

Натурними вимірюваннями зсувів встановлено, що при деформації  $e > 5$  мм/м спостерігається утворення вертикальних тріщин в масиві.

Основними видами порушення суцільності порід, що обумовлюють поведінку масиву, є розшарування по ослаблених контактах за рахунок відриву під дією власної ваги або вигинаючого моменту над серединою газогенератора. Міцність порід на відрив по нормалі до нашарування залежить від глибини розробки, наявності в породах на порожнинах нашарування ослаблених контактів і прошарувань визначається коефіцієнтом DR

$$DR = (B - \Gamma \cdot H \cdot 10^{-6})$$

де  $B$  і  $\Gamma$  – коефіцієнти, що залежать від літологічної різниці порід, МПа.

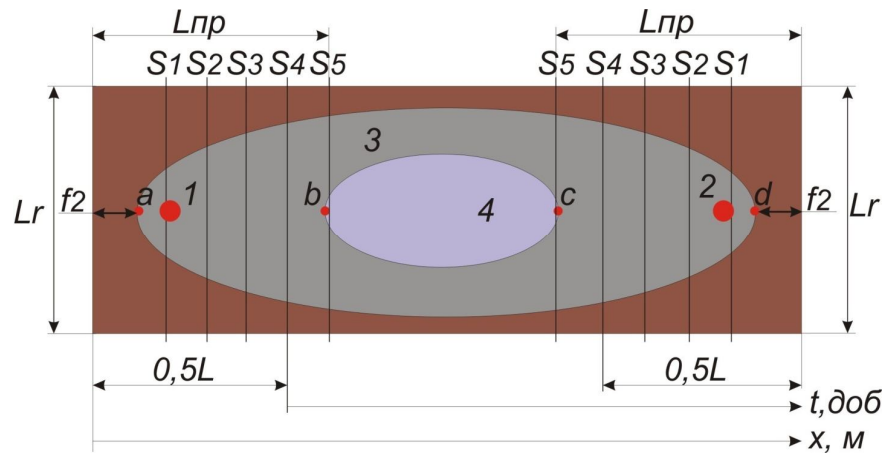
Знаючи характер розподілу навантажень на шари, визначаємо просторові зсуви порідної товщі у міру вигазування буровугільного пласта. У міру віддалення в сторону вигазованного простору від вогневого вибою порожнина вигазування буде змикатиметься. В результаті утворюються дві порожнини, що примикають до вигазованного простору і до масиву (рис.2).

Ширина порожнин  $u'$  визначається з виразу:

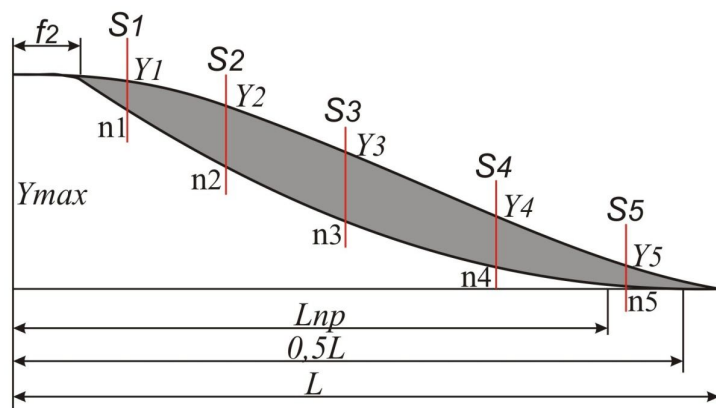
$$u' = L - f_2,$$

де  $L$  – граничний напівпрогін порід безпосередньої покрівлі, м;  $f_2$  – ширина опорної зони на рівні безпосередньої покрівлі, м.

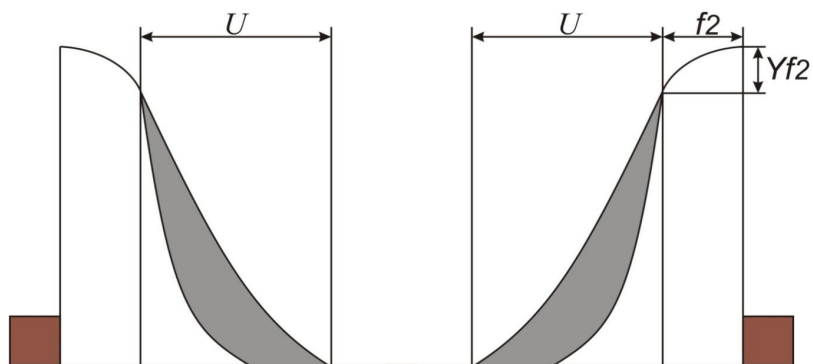
Визначаємо площу порожнини вигазовування виходячи з даних перетинів S1-S5, при  $l \leq y_{max}$ :  $S_n = n_b \cdot u_n \cdot \frac{1}{2}$



а)



б)



в)

Рис. 2. Утворення двох порожнин вигазовування при зімкненні порожнини над серединою вигазованного простору: а) – умови формування порожнини вигазовування над газогенератором в динаміці (перетинах S<sub>1</sub>-S<sub>5</sub>); б) – закрыта порожнина з параметрами зони затискання і розмірів порожнини в перетинах S<sub>1</sub>-S<sub>5</sub>; в) – формування двох порожнин при закритті порожнини в перетині S<sub>5</sub>, 1 – дугтева свердловина, 2 – газовідвідна свердловина, 3 – порожнина вигазованного простору, 4 – закриваюча порожнина вигазованного простору газогенератора

На рис. 3 показані параметри формування відкритої (а) і закритої (б) порожнин вигазовування.

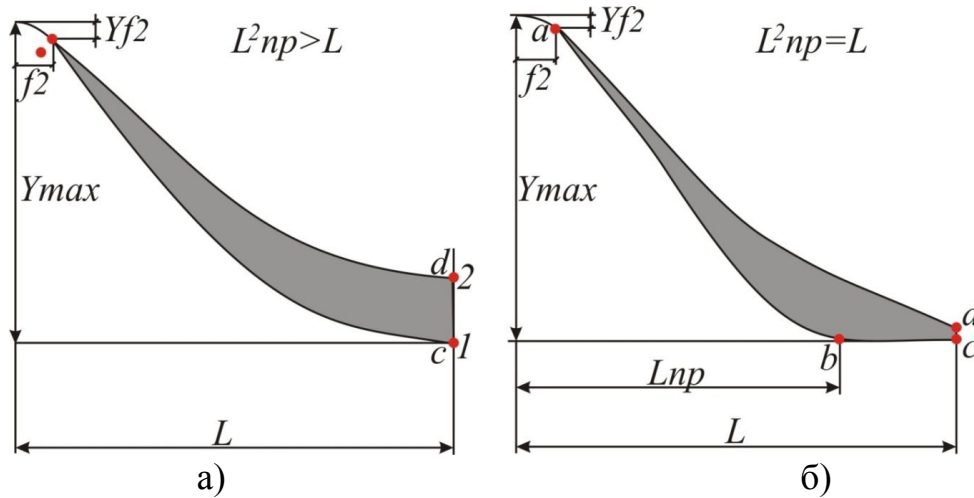


Рис. 3. Формування порожнин розшарування при газифікації вугільного пласта

Площі порожнин визначаються з виразів:

$$\text{варіант а: } S_r = (L - d_2) \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot \frac{1}{2},$$

$$\text{варіант б: } S_{ADC} = (L - f_2) \cdot (\gamma_1 - \gamma_2) \cdot \frac{1}{2}, S_{ABC} = \frac{1}{2} (\gamma_{max} - \gamma^{f_2}) \cdot (L - l_{np});$$

де;  $S_{ADC}$  – площа порожнини, що закривається, по трикутнику ADC,  $m^2$ ;  $S_{ABC}$  – площа закритої порожнини по трикутнику ABC,  $m^2$   $L$  – повна довжина напівпрогину даного шару (2-го верхнього шару), м;  $f_2$  – ширина опорної зони на рівні підшви, м;  $d_2$  – відстань від кінця опорної зони до точки формування порожнини, м;  $y_2^f$  – опускання шарів до точки розшарування, м;  $S_r$  – площа відкритої порожнини,  $m^2$ ;  $l_{np}$  – граничний напівпрогін основної покрівлі, м;  $y_1$  і  $y_2$  – опускання породних шарів від початку координат, мм.

Об'єм порожнини після вигазовування пласта визначається з параметрів, представлених на рис. 4.

Виходячи з побудованої графічної схеми, знаходимо об'єм порожнини вигазовування сформованою з трьох геометричних фігур:

$$V = \int_a^b S(x)dx + 2S_1(x)bc + \int_c^d S_2(x)dx.$$

Різниця між максимальними опусканнями шарів порід визначає максимальну висоту порожнин вигазовування пласта:

$$W^l = y_1(x) - y_2(x).$$

Для встановлення закономірностей формування порожнин розшарування і поведінки основної і безпосередньої покрівлі при вигазовуванні буровугільного пласта в умовах родовища Legnica Polnoc був вибраний найбільш характерний стратиграфічний розріз.

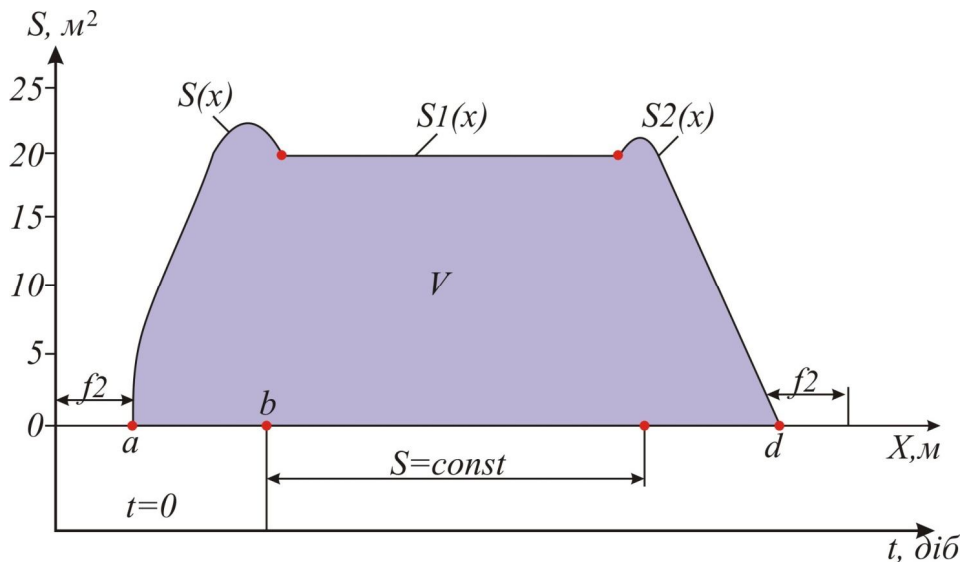


Рис. 4. Графічна схема до визначення об'єму порожнин після вигазування пласта в підземному газогенераторі

Спосіб підготовки підземного газогенератора з урахуванням формування вигазованного простору і порожнин розшарування порід покрівлі, представлений на рис. 5.

Згідно з результатами розрахунку на відстані 5 і 11 м в надвугільній товщі по нормалі від пласта, формуються порожнини розшарування (табл. 1), з відставанням від вогневого вибою на 1,4–1,95 м.

Форма порожнин підковоподібна, вони посуваються услід за вогневим вибоєм, при цьому ширина порожнин змінюється в межах 13,5–8,4 м. У вигазованному просторі на відстані 18–23 м від вогневого вибою нормальні навантаження близькі до сил гравітації. Основна покрівля буровугільного пласта представлена лесами і глинами потужністю 5,8–7,4 м, міцністю  $f=1-1,2$ . Модуль деформації порід основної покрівлі в масиві,  $E_0=1,16 \cdot 10^4$  МПа, над вигазованим простором  $E_n=0,49 \cdot 10^4$  МПа, повний напівпрогін підземного газогенератора  $L = 24,1-22,6$  м.

Аналізуючи результати математичного моделювання напружено-деформованого стану порід основної покрівлі, можна констатувати, що опускання над вогневим вибоєм при заданих технологічних параметрах складають 412,1; 453,5; 497,8 мм, максимальні опускання в перетині 22,6 м 3475,4 мм. Горизонтальні переміщення в даному породному шарі над вогневим вибоєм 182,6 мм, максимальні на відстані 5,2 м від вогневого вибою – 318,9 мм. Горизонтальні деформації в породах основної покрівлі складають 6,5–8,2 мм/м, що приводить до утворення вертикальної тріщинуватості з інтенсивністю 6–13 тріщин на 1п.м. При опорі порід на стиснення 10 МПа на сколювання 3,4 МПа і на відрив 0,1 МПа, спостерігатиметься обвалення порідного шару.

Породний шар, що залягає безпосередньо над пластом бурого вугілля, представлений глинами і сланцем міцністю  $f=1-1,3$ , потужністю 2,7–3,2 м, який при опусканні розшаровується на дві порідні пачки 2,0–1,3 м. Математична модель напружено-деформованого стану порід безпосередньої покрівлі



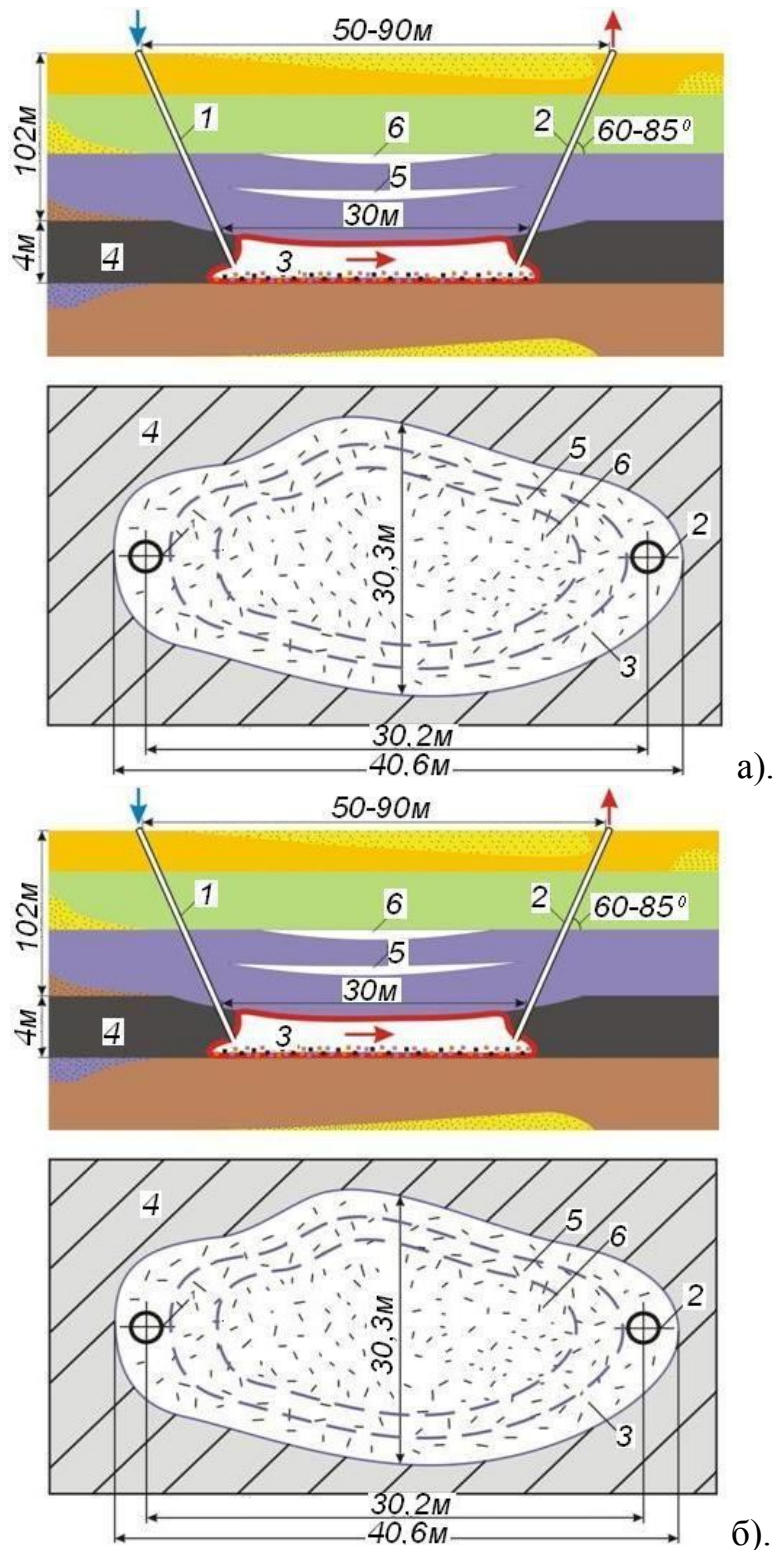


Рис. 5. а) Спосіб підготовки підземного газогенератора: 1 – дуттєва похила свердловина, 2 – газовідвідна похила свердловина, 3 – реакційний канал, 4 – буровугільний пласт, 5 – брекчія, 6 – бітумна глина, 7 – глина, 8 – пісок. б) – формування вигазованного простору і порожнин розшарування в породах безпосередньої і основної покрівлі при газифікації буровугільного пласта: 1, 2 – дуттєва і газовідвідна похилі свердловини, 3 – вигазований простір, 5, 6 – порожнини розшарування.

враховує механічні властивості порід і технологічні параметри газифікації вугільного пласта. Результати розрахунку напружено-деформованого стану нижньої пачки породного шару безпосередньої покрівлі при вигазовуванні буровугільного пласта, приведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фізичні параметри епюр навантаження, опускання і напруги при вигині нижньої пачки породного шару безпосередньої покрівлі

Фізичні параметри, МПа			Опускання нижньої пачки порід покрівлі, мм			Напруження, МПа			Довжина вибою	Посування вибою
S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub>	над вибоєм	2,0 м	22,6 м	G <sub>сж</sub>	G <sub>р</sub>	Φ <sub>max</sub>	L, м	V, м/дою
5,8	2,6	0,35	497,8	1091	3475,4	17,4	3,51	0,72	30	1,1
6,4	3,1	0,62	453,5	1044	3342,6	19,5	5,42	1,03	30	1,6
7,3	4,6	0,98	412,1	998	3230,7	21,8	6,83	1,16	30	2

Породи покрівлі і підшви, що безпосередньо прилягають до вогневого вибою газогенератора схильні до спучення під впливом високих температур. Це обумовлюється наявністю хімічних компонентів в породах покрівлі: SiO<sub>2</sub> – 70 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/SiO<sub>2</sub> – 0,29 %, CO – 1,52 %, що характеризується коефіцієнтом спучення K<sub>в</sub>=1,52. Зменшення опускання породного шару також обумовлене наявністю зольного залишку потужністю 0,31-0,38 м.

За даних умов спостерігатиметься обвалення породного шару покрівлі з розшаруванням і розтріскуванням його під дією гірського тиску і високих температур. За відсутності кріплення в підземному газогенераторі опускання порід покрівлі на відстані 2,0 м від вибою досягнуть 1072 мм, а на відстані 22,6 м – 475,4 мм. У цій точці покрівля зімкнеться із зольним залишком на підшві.

Ширина вигазованого простору (рис. 4) підземного газогенератора з урахуванням максимального значення коефіцієнта реагування бурого вугілля

$$K_{p.v.} = 0,753, \text{ складе: } h = l \cdot K_{p.v.} = 40,2 \cdot 0,753 = 30,3 \text{ м,}$$

де l<sub>в</sub> – довжина реакційного каналу підземного газогенератора з урахуванням вигазованого простору біля свердловин, l<sub>в</sub>=40,2 м.

Результати розрахунку параметрів вигазованого простору з урахуванням залишкової золи t<sub>з</sub>=0,29-0,38 м і коефіцієнта спучення порід безпосередньої покрівлі K<sub>в</sub>=1,32-1,54, представлені в табл. 2 та рис. 4.

В ході аналітичних досліджень встановлені параметри порожнин вигазовування і порожнин розшарування в породах над газогенератором підготовленими похилими експлуатаційними свердловинами (рис.4), з урахуванням гірничо-геологічних умов і технологічних параметрів вигазовування пласта (рис. 6).

Таблиця 2

Параметри вигазованного простору і порожнин розшарування в породах покрівлі при газифікації буровугільного пласта

Довжина вогневого каналу підзем- ного газогене- ратора, м	Швидкість посування вогневого вибою, м/доб								
	1,1			1,6			2,0		
	h <sub>max</sub> , мм	V <sub>p max</sub> м <sup>3</sup>	V <sub>p min</sub> , м <sup>3</sup>	h <sub>max</sub> мм	V <sub>p max</sub> ма <sub>х</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>p min</sub> , м <sup>3</sup>	h <sub>max</sub> мм	V <sub>p max</sub> ма <sub>х</sub> , м <sup>3</sup>	V <sub>p min</sub> , м <sup>3</sup>
30	вигазований простір – 3								
	1565	1759	753	1784	1804	817	1813	1868	1005
	порожнина розшарування – 5								
	812	1064	479	985	1214	538	1105	1250	582
	порожнина розшарування – 6								
	397	655	283	461	729	372	596	846	407
25	вигазований простір – 3								
	1420	1602	712	1456	1658	747	1494	1740	853
	порожнина розшарування – 5								
	561	724	270	596	915	383	680	1012	418
	порожнина розшарування – 6								
	288	441	218	357	634	246	439	707	281

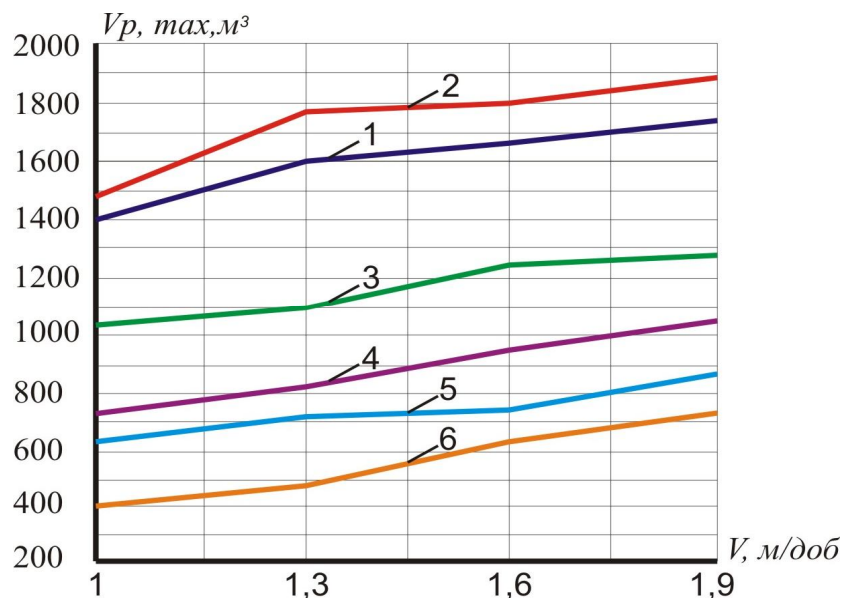


Рис. 6. Максимальні параметри вигазованного простору (1, 2) і порожнин розшарування (3, 4, 5, 6) в породній товщі над газогенератором залежно від довжини реакційного каналу і швидкості вигазування буровугільного пласта: 1, 4, 6 – довжини реакційного каналу 25 м, 2, 3, 5 – довжини реакційного каналу 30 м

Опускання земної поверхні в умовах застосування ін'єкційної закладки при вигазовуванні шару буровугільного пласта визначаються з виразу:

$$\Delta h = m - (K_{cp,y} + m_3) \cdot K_g \cdot K_p,$$

де  $\Delta h$  – опускання земної поверхні при вигазовуванні вугільного пласта, м;  $m$  – потужність шару бурого вугілля, 4 м;  $K_{cp,y}$  – серед коефіцієнт усадки масиву 1,15;  $m_3$  – потужність золозалишку, 0,38 м;  $K_g$  – коефіцієнт спучення порід 1,52;  $K_p$  – коефіцієнт розпушування 1,14.

Підставимо у вираз значення, характерні при газифікації буровугільного пласта БЗ:

$$\Delta h = 4 - (1,05 + 0,38) \cdot 1,52 \cdot 1,14 = 1,52 \text{ м.}$$

Опускання земної поверхні при вигазовуванні шару пласта складе 1,52 м без закладки деформованих порід і вигазованого простору газогенератора.

**Висновки.** Особливості зміни напружено-деформованого стану порід над газогенератором і утворенням аномальних зон гірського тиску пов'язаний з параметрами вигазовування буровугільного пласта і термонапруженнями в породах, прилеглих до реакційного каналу.

Під впливом температур процесу газифікації породи покрівлі і підшви пласта спучуються збільшуючись в об'ємі, крім того залежно від зольності пласта на підшві газогенератора залишається зольний залишок, всі ці чинники впливають на параметри області деформації порід навколо підземного газогенератора.

Встановлені параметри напружено-деформованого стану породовугільної товщі, вигазованого простору і порожнин розшарування при вигазовуванні буровугільного пласта, дозволяють визначити параметри деформації денної поверхні над газогенератором.

Визначивши параметри вигазованого простору і зон розшарування порідної товщі над ним, розробляються параметри закладних робіт з метою забезпечення герметичності газогенератора, надійності і адаптивності процесу газифікації та запобігання деформацій на денній поверхні газогенератора.

#### Список література

1. Казак В.Н., Шейнин В.И. Исследование физических, механических и термических свойств горных пород для целей подземной газификации углей // Научные труды ВНИИ Подземгаз. – М.: Госгортехиздат, 1963. – Вып.10. – С.17-21.
2. Савостьянов А.В., Клочков В.Г. Управление состоянием массива горных пород. – К.: НМКВО, 1992. – 276 с
3. Фальштинський В.С., Дичковський Р.О., Почепов В.М. Геодинамічні зміни у шаруватому породовугільному масиві при підземній газифікації пластів твердого палива // Науковий вісник НГУ. – 2008. – № 7. – С. 22-28
4. Geomechanical model of rockmass containing gas-generator and its industrial estimation. V. Falsztinsky, R.E. Diczkowsky // Scientific Reports on Resource Issues 2010, volume 2/ Publisher: Medienzentrum der TU Bergakademie Freiberg, Germany/ p. 192–204.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 29.10.13*

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОВЕДІНКИ ГІРСЬКОГО МАСИВУ ПРИ ОДНОЧАСНОМУ ВИСХІДНОМУ ПОРЯДКУ ВИГАЗОВУВАННЯ ЗБЛИЖЕНИХ ТОНКИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ

Приведены результаты исследования технологии скважинной подземной газификации угля на стендовой экспериментальной установке при одновременном восходящему выгазовыванию сближенных тонких угольных пластов. Установлены параметры пространственного размещения линии максимального опережения огневого забоя подрабатываемого угольного пласта.

Представлено результати дослідження технології свердловинної підземної газифікації вугілля на стендовій експериментальній установці при одночасному висхідному порядку вигазовування зближених тонких вугільних пластів. Встановлено параметри просторового розміщення лінії максимального випередження вогневого вибою підробляемого вугільного пласта.

The results of investigation of borehole underground coal gasification technology in a bench experimental setup at simultaneous upward mining gasification of thin coal seams are given. The parameters of the spatial distribution of the maximum combustion face advancing of undermined coal seam are set up.

**Вступ.** Збільшення потреб України в споживанні енергетичної сировини вимагає більш детального розгляду паливно-енергетичного комплексу. Ефективне функціонування якого можливе за рахунок всебічного розвитку саме енергетичного сектору економіки та за умови ефективної експлуатації всіх видів палива. Враховуючи незначні запаси нафти і газу, на території України, пріоритетним енергетичним носієм на найближчий час залишається вугілля.

В Україні зосереджено близько 4 % світових запасів вугілля. Основний видобуток корисної копалини ведеться в Луганській, Донецькій і Дніпропетровській областях. Причому на Луганську область припадає 43 % видобутку на Донецьку – 27 %, Дніпропетровську – 23 %, а на Львівську і Волинську – 7 % загального обсягу видобутку вугілля [1].

При сучасних обсягах виробництва українська вугільна промисловість може ефективно працювати щонайменше 200 років. На жаль, 65,9 % усіх розвіданих до експлуатації запасів сконцентровані у пластах потужністю менше 1,2 м. Особливістю їх просторового розташування є те, що значна кількість зосереджена у зближених пластах. Така ситуація приводить до необхідності пошуку нових технологій вуглевидобування для покращення показників роботи як самих гірничих підприємств так і екологічної ситуації довкілля.

Як відмітив автор роботи [2], протягом найближчих 10 років динаміка паливно-енергетичного балансу в світі істотно зміниться. Роль вугілля, як компоненти енергетичної сировини, збільшуватиметься. Це вимагатиме удосконалення техніки та технології розробки зближених тонких і надтонких вугільних пластів. Із зростанням рівня складності умов ведення очисних і прохідницьких робіт необхідно буде змінювати технічні засоби для усіх технологічних процесів гірничого виробництва.

На думку багатьох світових вчених та спеціалістів з галузі паливно-енергетичного комплексу однією з досить перспективних інноваційних техно-

логій в гірничо-енергетичній сфері є впровадження якісно нової технології – свердловинної підземної газифікації вугілля (СПГВ).

**Мета статті.** Обґрунтувати параметри технології СПГВ на основі встановлення способів управління гірським тиском при одночасному висхідному порядку вигазовування зближених тонких вугільних пластів на стендовій експериментальній установці.

**Основна частина.** Проведення експериментів на стендових моделях дає можливість встановлювати закономірності процесу підземної газифікації та поведінки породного масиву в процесі вигазовування вугільного пласта, а також отримувати вихідні дані для розробки технічної документації по спорудженню промислових станцій «Підземгаз».

Експериментальна стендова установка була спроектована та запатентована в Державному ВНЗ «НГУ» на кафедрі підземної розробки родовищ, сконструйована НВО «Нафтомаш» за фінансової підтримки Міністерства освіти і науки України. Принципова схема наведена на рис. 1.

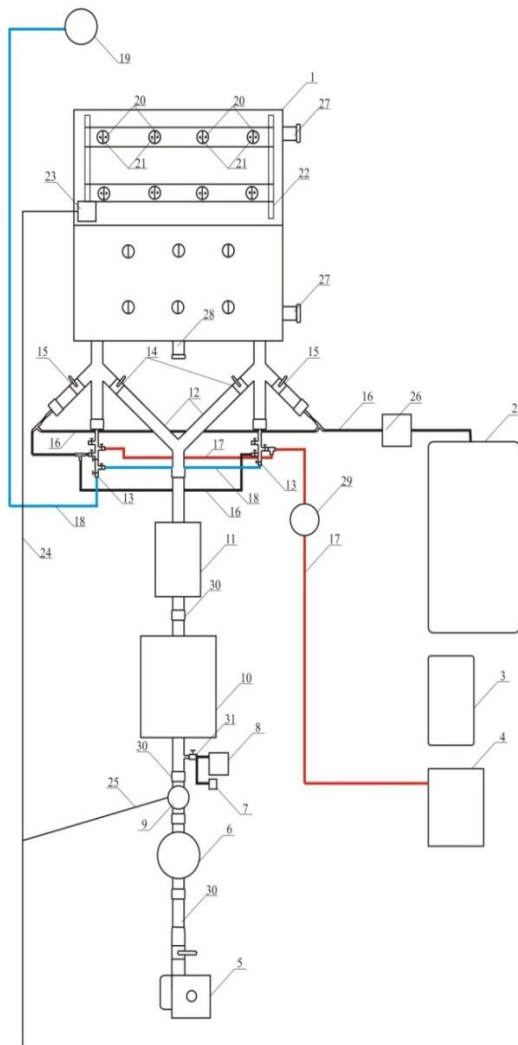


Рис. 1. Принципова схема експериментальної стендової установки: 1 – металевий ящик; 2 – робочий компресор; 3 – резервний компресор; 4 – парогенератор; 5 – димосос; 6 – фільтр очищення; 7 – портативний газоаналізатор VX-170; 8 – аналізатор газу трикомпонентний Casboard-3200L; 9 – витратомір; 10 – відстійник для конденсату; 11 – розширювальний бак; 12 – газовідвідний трійник; 13 – керований високонапірний трубопровід; 14 – шарнірні крани газовідвідної гілки для реверсування; 15 – шарнірні крани повітро-подавальної вітки для реверсування; 16 – шланг високого тиску; 17 – високотемпературний шланг; 18 – кисневий шланг; 19 – кисневий балон; 20 – отвори для установлення реперних датчиків зсуву; 21 – отвори для установлення термопар; 22 – установка для реперних лінійок зсуву; 23 – з'єднувальна коробки мережних кабелів термопар і реперних датчиків зсуву; 24, 25 – мережний кабель термопар, реперних датчиків зсуву, витратоміра; 26 – витратомір для визначення подачі дугтьової суміші; 28 – розпалювально-контрольний отвір; 29 – паровий ресивер; 30 – газовідвідний трубопровід; 31 – засувка для відбору проб газу

Експериментальна установка складається з чотирьох основних складових частин:

1. Металевий ящик 1 з двома гідродократами, який призначений для моделювання породо-вугільного масиву при різних кутах падіння вугільного пласта;

2. Дуттєва вітки (2 – 4, 13, 15 – 19, 26, 29), призначена для подачі дуттєвих сумішей;

3. Газовідвідна вітка (5, 6, 10 – 12, 14, 30, 31), призначена для відводу генераторного газу та встановлення концентрації енергетичних газів способом відбору проб;

4. Контрольно – вимірювальна апаратура (7 – 9, 24 – 26).

Фотофіксація експериментальної установки у режимі «Проведення досліджень» наведена на рис. 2.



Рис. 2. Фотофіксація стендової експериментальної установки

Контроль за якісним складом генераторного газу проводився за допомогою газоаналізаторів VX-170, Casboard-3200L. Розхід дуттєвої суміші та вихід кількості генераторного газу контролювався за допомогою витратомірів ИР-ВИС-К300 з перетворювачами сигналу.

Для імітацій різних видів подачі дуття використовувалась компресорна установка, парогенератор, балони з вуглекислим газом та киснем.

Визначення параметрів розповсюдження температурного поля фіксувалось в окремих точках моделюючої області за допомогою стаціонарних термодатчиків (рис. 3а) з перетворювачами сигналу, обладнаних інтерфейсом «Терра». Контроль за процесом розпалювання вугільного пласта проводився переносним приладом вимірювання температури – пірометром (рис.3б).



Рис. 3. Загальний вигляд датчиків температури: а – термодатчики, б – робочий дисплей пірометра

Зміна стану геомеханічної ситуації породного масиву контролювалася реперними датчиками з оптичними датчиками лінійного переміщення (рис. 4). Встановлення величин переміщення, збереження та виведення даних здійснювалося за допомогою програмного забезпечення Monitor QV.

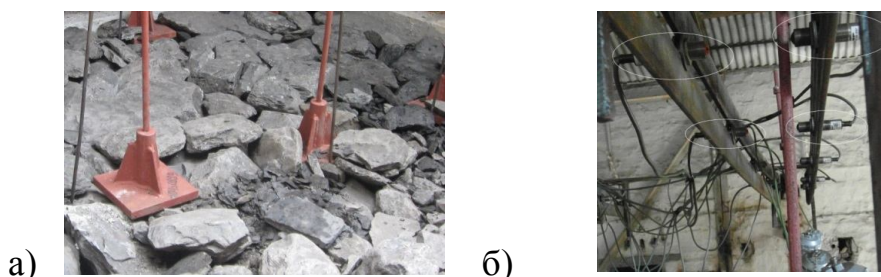


Рис. 4. Загальний вигляд апаратури контролю геомеханічної ситуації гірського масиву: а – основа реперного датчика, б – оптичні датчики зміщення

*Моделювання процесу СПГВ за критеріями подібності до натурних умов.*

Для імітації процесу підземної газифікації в реальних умовах на стендовій установці автором було встановлено необхідні масштабні коефіцієнти та умови подібності, що включають в себе: геометричну подібність об'єктів природи та моделі, пропорційність фізичних постійних природи та моделі, подібність початкового стану системи природи та моделі, подібність граничних умов системи.

Розміри стендової установки складають  $2,2 \times 2,0 \times 2,5$  м. З урахуванням цих параметрів розміри моделюючого вугільного пласта становлять по падінню  $H_M = 2,2$  м, а по простяганню  $S_M = 2,0$  м.

Для моделювання породо-вугільної товщі визначався масштабний коефіцієнт, який зберігає постійне значення при переході від однієї точки системи до іншої, але він змінюється при переході від одного явища до іншого. Масштабний коефіцієнт визначався на основі порівняння геометричних розмірів вугільного пласта в природі  $m_n = 1,1$  м та експериментального газогенератора  $m_{M1} = 0,15$  м і становить  $\alpha_1 = \frac{1,1 \text{ м}}{0,15 \text{ м}} = 7,3$ . Масштабні коефіцієнти тиску, часу, теплової віддачі визначались відповідно з [3]. Експериментальні розміри змодельованого породо-вугільного масиву наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Потужність породо-вугільного масиву експериментального газогенератора

№ п/п	Осадова порода	Потужність породо-вугільного масиву моделі, м
1	Аргіліт	0,2
2	Вугільний пласт $m_{M2}$	0,12
3	Пісковик кварцовий	0,46
4	Аргіліт	0,37
5	Алевроліт	0,19
6	Пісковик кварцовий	0,3
7	Алевроліт	0,23
8	Аргіліт	0,18
9	Вугільний пласт $m_{M1}$	0,15



### *Процес моделювання породо-вугільного масиву на стендовій установці*

Моделювання породо-вугільного масиву проводилось в два етапи. На першому етапі відбувалось моделювання вугільного пласта, на другому – надвугільної товщі. В якості еквівалентного матеріалу використовувались: куски вугілля розміром 200x150x100 мм, що за якісним складом відповідали досліджуваній ділянці; вугільний пил; вода та цемент марки 400.

У пласті залишався простір для імітації нагнітальної та газовідвідної свердловин та каналу газифікації. Реакційний канал формувався зі шматків вугілля фракцією 2,5 – 6,8 см, імітуючи гідророзрив пласта між експлуатаційними свердловинами

Для моделювання надвугільної товщі, як еквівалентний матеріал використовувались куски породи, каолінова глина, цемент та вода.

Збільшення жорсткості порід основної покрівлі забезпечувалося внесенням необхідної кількості породи відповідного ступеня метаморфізму, а також цементним розчином.

Теплоізоляція стендової установки дозволила зменшити втрати тепла. В якості теплоізоляційного матеріалу використовувався вогнетривка цегла, яка викладалася в один ряд по контуру стенда на висоту шарів літологічної різниці.

**Результати дослідження.** Спостереження за переміщенням пластів і процесом їх обвалення здійснювалось на 4 рядах (8 замірних точок) по падінню вугільного пласта. В процесі моделювання було опрацьовано чотири моделі при зміні глибини закладки реперних датчиків від 1,3 до 8,4 м. Характер переміщення порід масиву в кожній моделі мав як свої власні, так і спільні риси.

В результаті проведених досліджень встановлені залежності переміщення шарів літологічної різниці. Характер поведінки порід покрівлі в вертикальному напрямку фіксувався вимірювальною лінійкою табл. 2 та системою оптичних датчиків. На рис. 5 наведено початковий та кінцевий етапи досліджень при потужності міжпласта 1,3 м.

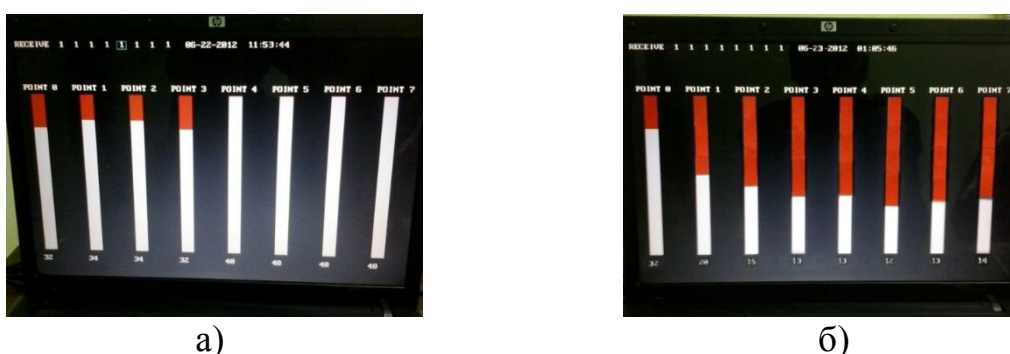


Рис. 5. Візуалізація характеру переміщення шарів літологічної різниці при міжпласті 1,3 м: а – 4 та б – 17 години експерименту

Відповідність отриманих результатів поведінки гірського масиву в моделюючій області перевірялась шляхом внесення числового набору даних по переміщенню в паралельно-розподілену систему, що закладена у програмний продукт Surfer 8 [4].

## Зміна переміщень порід міжпластя в замірних точках

Ряд реперних датчиків	Відстань перпендикулярно вогневому вибою, $L_{в.в.}$ , м							
	0,1	0,4	0,7	1,0	1,3	1,6	1,9	2,1
	Величина опускання, $y$ , мм							
Потужність міжпластя $h=0,18$ м								
1	25	57	64	66	72	70	72	68
2	26	58	66	68	79	83	79	74
3	26	58	67	72	77	81	74	70
4	22	55	66	70	74	73	69	66
Потужність міжпластя $h=0,4$ м								
1	4	27	32	35	39	37	36	34
2	6	33	38	44	45	44	44	40
3	6	29	41	42	39	41	41	39
4	3	26	36	38	36	40	38	37
Потужність міжпластя $h=0,71$ м								
1	0	5	13	17	16	17	17	15
2	0	6	19	25	26	25	21	21
3	0	4	15	22	24	25	22	20
4	0	0	11	14	18	18	18	18
Потужність міжпластя в натурі $h=0,9$ м								
1	0	0	3	4	4	4	5	4
2	0	0	5	5	6	8	8	7
3	0	0	5	8	8	8	8	7
4	0	0	3	5	5	6	6	5

Унаслідок чого були побудовані тривимірні (3D) моделі експериментального газогенератора, що відображають поведінку гірського масиву при різній потужності міжпластя. На рис. 6 автором наведено таку модель при потужності 0,4 м. Побудова відповідних моделей відповідає положенню загальноприйнятих теорій щодо процесів руйнування гірського масиву: теорія плит, теорія балок-полосок [5].

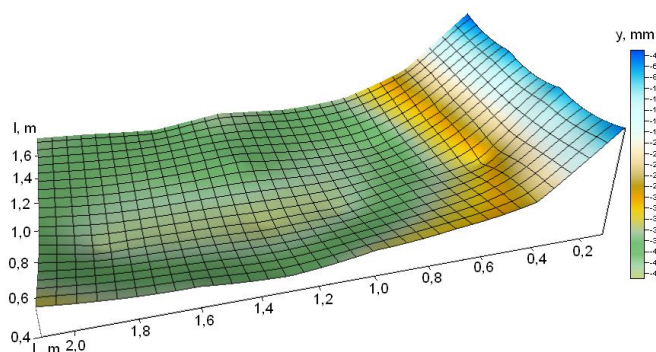


Рис. 6. 3D модель надвугільної товщі експериментального газогенератора при  $h = 0,4$  м

На основі графічного відображення чисельних даних поведінки надвугільної товщі автором було отримано усереднену залежність рис. 7, яка відображає початок руху зони активних деформацій залежно від потужності надвугільної товщі.

Використовуючи масштабний коефіцієнт, було проведено перерахунок і встановлені деформаційні характеристики гірського масиву рис. 7 та техніко-технологічні параметри табл. 3 для реальних умов шахтного газогенератора. Величина міжпластя змінювалась від 1,3 до 8,4 м.

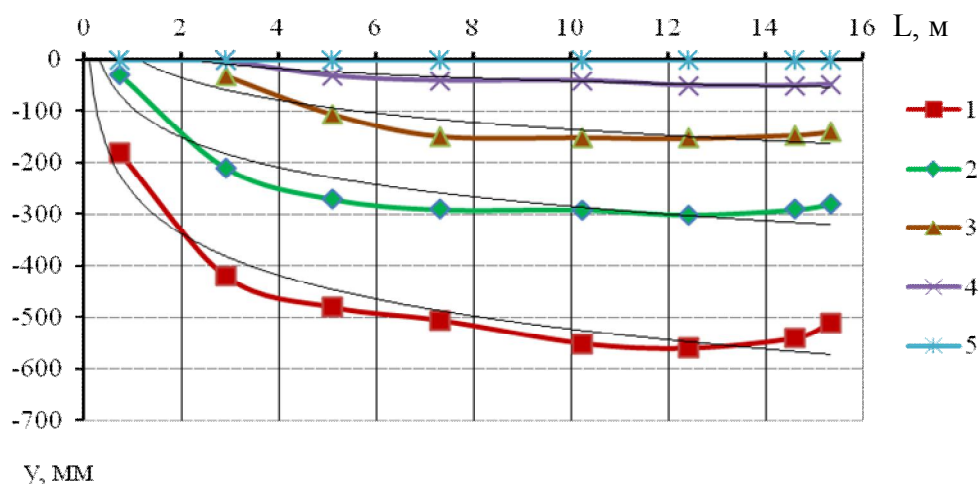


Рис. 7. Графіки опускань шарів порід міжпластя: 1 – 1,3 м; 2 – 3,0 м; 3 – 5,2 м; 4 – 6,6 м; 5 – 8,4 м

Таблиця 3

Результати техніко-технологічних показників роботи підземного газогенератора

Величини	1	2	3	4	5	6
Доба						
Об'єм газу, тис м <sup>3</sup>	300	600	900	1201	1751	2051
К-сть вигазованого вугілля, т	120,12	240,24	360,36	480,48	700,6	820,72
Посування, м	2,8	5,6	8,4	11,2	14	16,8

Максимальні опускання порід на рівні 1,3 м настали на кінець 3 доби і рівні біля 0,6 м. На рівні 3,0 м стабільний режим опускань настав на середину 3 доби і становив біля 0,3 м. З величиною збільшення міжпластя опускання починають зменшуватись, на рівні 5,2 м – 0,15 м, 6,6 м – 0,01 м. На рівні 8,4 м режим опускань був відсутній при тривалості спостереження протягом 6 діб.

Опрацювання графіків опускань 1 – 5 за допомогою методів математичної статистики дозволило спрогнозувати максимально допустиму величину випередження вогневих вибоїв  $L_{max}$ , при їх одночасній роботі в висхідному порядку.

При потужності міжпластя  $h=1,3$  м максимально допустима величина випередження вогневих вибоїв знаходиться в межах 0,2 – 0,3 м, при  $h = 3,0$  м – 0,5 – 0,7 м,  $h = 5,2$  м – 1,1 м – 1,25 м,  $h = 6,6$  м – 2,2 – 2,35 м (рис. 8).

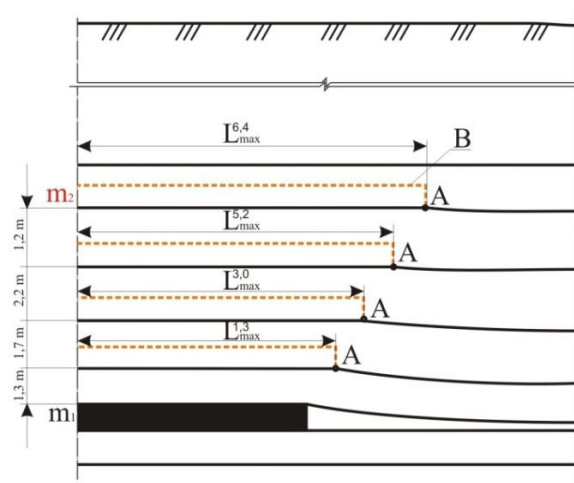


Рис. 8. Знаходження просторової лінії максимального випередження  $L_{max}$  залежно від потужності міжпласта: А – просторова точка розташування вогневого вибою, В – прогнозне розташування вугільного пласта

**Висновок.** На основі проведених досліджень автором було встановлено параметри просторового розміщення лінії максимального випередження вогневого вибою  $L_{max}$  при одночасному висхідному порядку вигазовування зближених тонких вугільних пластів технологією СПГВ, яка має знаходитися за зоною впливу максимальних деформацій та прогинів.

Врахування просторового розміщення лінії максимального випередження дозволяє ефективно управляти гірським тиском та забезпечити герметичність підземних газогенераторів.

#### Список літератури

1. Видобуток вугілля в Україні нині ведеться в 160 шахтах. Інфографіка. – Режим доступу: <http://www.ukrinform.ua>.
2. Дичковський Р.О. Наукові засади синтезу технологій видобування вугілля у слабометаморфізованих породах / Р.О. Дичковський. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 262 с.
3. Економічні й екологічні аспекти комплексної генерації та утилізації енергії в умовах урбанізованих та промислових територій / [Г.Г Півняк, О.С Бешта, П.І Пілов та ін.]. – Д. : Національний гірничий університет, 2013. – 176 с.
4. Иванова И.А. Решение геологических задач с применением программного Р47 пакета Surfer: практикум для выполнения учебно-научных работ студентами направления «Прикладная геология» / И.А. Иванова, В.А. Чеканцев. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 92 с.
5. Савастьянов А.В. Управление состоянием массива горных пород: [учеб. пособие] / А.В. Савастьянов, В.Г. Клочков. – К. : УМК ВО, 1992. – 276 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.  
Надійшла до редакції 05.12.13*

## ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОСКОПІЧНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ ДОВГОВІЧНОСТІ ОБЛИЦЮВАЛЬНИХ ВИРОБІВ З ПРИРОДНОГО КАМЕНЮ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ТЕХНОЛОГІЇ ВИДОБУТКУ СИРОВИНИ

Розглядається застосування мікроскопічного методу для оцінки довговічності облицювальних виробів з природного каменю в залежності від технологій видобутку сировини.

Рассматривается применение микроскопического метода для оценки долговечности облицовочных изделий из природного камня в зависимости от технологий добычи сырья.

The application of the microscopic method for the estimation of life facing products made of natural stone, depending on the technology of production of raw materials.

**Вступ.** Найвідоміші стародавні споруди із граніту, мармуру або вапняку збереглися до наших днів, переживши цілі епохи. Але таких споруд небагато і “вижили” вони завдяки постійній турботі про них вчених-реставраторів. Вже в давнину будівельники знали, що кам'яні споруди потребують захисту. Зодчі Стародавньої Греції і Риму активно використовували фарбування як засіб захисту. В XVI столітті з такою метою застосовували вапняну побілку.

Взагалі довговічність природних кам'яних матеріалів залежить від комплексу фізичних, механічних і хімічних властивостей гірської породи - її пористості, водопоглинання, морозостійкості, міцності, хімічної стійкості.

На довговічність природного каменю впливають кліматичні, механічні, хімічні та біологічні фактори. Негативний вплив кліматичних факторів обумовлений зволоженням атмосферними опадами, міграцією і випаровуванням вологи, різкими коливаннями температури. Процеси корозії прогресують, якщо кам'яний матеріал містить не атмосферостійкі мінерали, має підвищену пористість і шорстку поверхню.

**Ціль досліджень:** оцінка впливу тріщинуватості та глибини тріщин на довговічності облицювальних виробів з природного каменю.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Мікроскопічні методи дослідження - способи вивчення різних об'єктів за допомогою мікроскопа. У біології та медицині ці методи дозволяють вивчати будову мікроскопічних об'єктів, розміри яких лежать за межами роздільної здатності ока людини. Основу мікроскопічного методу становить світлова та електронна мікроскопія. У практичній та науковій діяльності лікарі різних спеціальностей - вірусологи, мікробіологи, цитологи, морфологи, гематологи та інші крім звичайної світлової мікроскопії використовують фазово-контрастну, інтерференційну, люмінесцентну, поляризаційну, стереоскопічну, ультрафіолетову, інфрачервону мікроскопію. В основі цих методів лежать різні властивості світла. При електронній мікроскопії зображення об'єктів дослідження виникає за рахунок спрямованого потоку електронів. Для світлової мікроскопії та заснованих на ній інших мікроскопічних методів дослідження визначальне значення крім роздільної здатності мікроско-

па має характер і спрямованість світлового променя, а також особливості досліджуваного об'єкта, який може бути прозорим і непрозорим. Залежно від властивостей об'єкта змінюються фізичні властивості світла - його колір і яскравість, пов'язані з довжиною і амплітудою хвилі, фаза, площину і напрям поширення хвилі. На використанні цих властивостей світла і будуються різні мікроскопічні методи дослідження.

В нашій роботі ми спираємося на дослідження В.А. Александрова, академіка інституту надтвердих матеріалів імені В.Н. Бакуля, який використовував мікроскопічний метод для вивчення робочої поверхні алмазно-абразивного інструмента. До основних параметрів, які характеризують робочу поверхню інструмента, відноситься форма, геометрія і робочий стан зерен, розподілення зерен і відстань між ними в об'ємі алмазного шару і на поверхні робочих елементів, розподіл зерен по виступанню над рівнем зв'язки. Для цього В.А. Александров використовував мікроскоп поляризаційний МІН-8, який зображений на рис.1, який призначений для дослідження прозорих препаратів в (звичайному або поляризованому) світлі в коноскопическом і ортоскопическом ході променів.

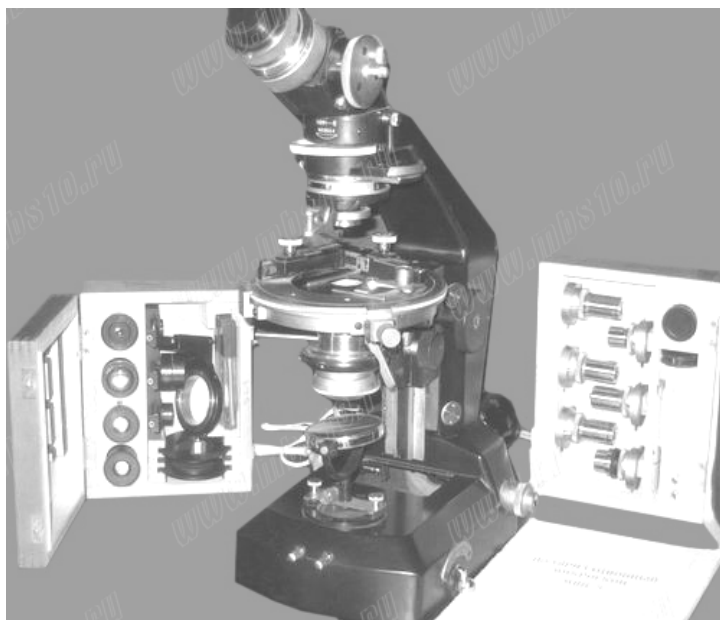


Рис. 1. Зображення мікроскопа МІН-8

Мікроскоп може застосовуватися для різних робіт у галузі мінералогії, петрографії, мінераграфії, а також у галузі біології та хімії. Мікроскоп спільно з освітлювачем ОІ-12 може бути застосований для дослідження непрозорих об'єктів у відбитому світлі (як в поляризованому, так і звичайному). З мікро фотонасадкою типу МФН мікроскоп забезпечує можливість фотографування досліджуваних об'єктів. Крім того, конструкція мікроскопа дозволяє вести роботу зі столиком Федорова, пристроєм для спостереження методом фазових контрастів КФ -1 і конденсором темного поля ОІ- 13.

В наших дослідженнях застосовувався мікроскопічний метод з метою оцінки тріщинуватості природніх каменів. Для цього було використано стенд,

який складається з мікроскопа Ломо Метам Р-1 з CCD відеокамерою Digital КОСОМ при збільшенні об'єтивів в 175, 360 і 900 разів (рис.2).



Рис. 2. Зображення стану

Також наша робота полягала у виявленні відсоткового складу тріщин в зразках, які були добуті різними способами: за допомогою зриву та канатного різання. На зразках була обрана площа  $2 \times 2$  см, за допомогою мікроскопа виявленні всі тріщини. Далі ми знаходили площу тріщин, для цього ми використовували унікальний та коштовний сучасний скануючий електронний мікроскоп ZEISS EVO 50XVP виробництва фірми ZEISS, укомплектованого енергодисперсійним аналізатором рентгенівських спектрів INCA450 з детектором INCAPentaFETx3 та системою HKL CHANNEL-5 для дифракції відбитих електронів виробництва фірми OXFORD (рис. 3).



Рис. 3. Зображення мікроскопа ZEISS EVO 50XVP

Устаткування призначене для визначення локального та середнього якісного та кількісного складу неорганічних зразків, а також для отримання і обро-

бки зображень при збільшенні до 300000 разів широкого класу об'єктів: фармацевтичних, текстильних, медичних, біологічних та ін.

### Основні технічні характеристики растрового електронного мікроскопу

ZEISS EVO 50XVP	
Просторова роздільна здатність при 30 кВ:	катод LaB6 2 нм; катод W 3 нм;
Прискорююча напруга діапазон:	0.2 – 30 кВ;
Струм зонду діапазон:	1 pA – 3 nA;
Стабільність електронного пучка краща	0.2 %/ч.

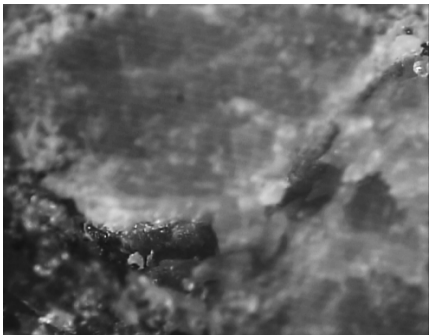
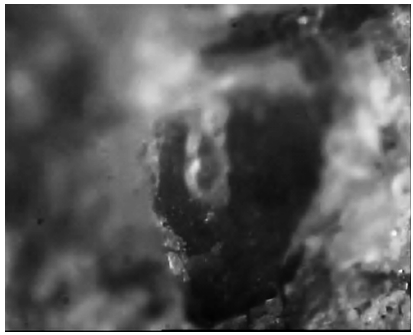
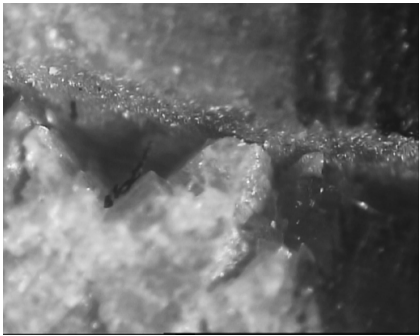
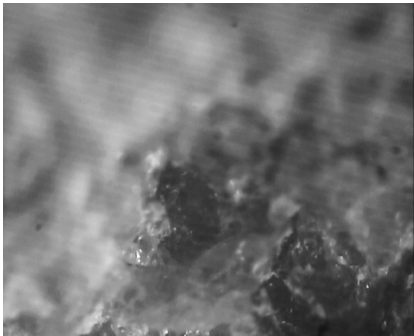
Збільшення від 5 до 1 000 000x, неперервно змінюється у режимах грубого та точного регулювання

За допомогою мікроскопа Ломо Метам Р-1 визначаємо глибину тріщини в залежності від технології видобутку сировини: при зриві вона досягається 900 мкм, а при канатному різанні максимум 300 мкм, де 100 мкм дорівнює 0,1 мм.

В таблиці наведено зображення глибини тріщини при різних способах видобування.

Таблиця

### Глибина тріщин в залежності від способу видобування

Родовище	Спосіб видобування з застосуванням канатного розпилу	Спосіб видобування з застосуванням вибуху
Капустянське	 <p style="text-align: center;">70 мкм (0,1 мм)</p>	 <p style="text-align: center;">900 мкм (0,9 мм)</p>
Крупське	 <p style="text-align: center;">150 мкм (0,15 мм)</p>	 <p style="text-align: center;">700 мкм (0,7 мм)</p>



**Висновки.** За отриманими даними можемо зробити висновок, що глибина тріщин при способі видобування з застосуванням вибуху в 10 разів більше, що значно впливає на довговічність та вартість обробки облицювальних виробів з природнього каменю.

Вироби з гірських порід відносять до довговічних будівельних матеріалах. У процесі експлуатації кам'яні матеріали, як і всі інші, піддаються впливам навколишнього середовища, що неминуче веде до їх руйнування. Цей процес називають вивітрюванням. Вплив води - основна причина руйнування каменю. Дуже дрібні і непомітні тріщини в камені, можливо утворилися в процесі обробки, стають початком подальшого руйнування. Атмосферні опади, пил і гази, зволоження і висихання, перепади температур - все це скорочує термін служби кам'яних матеріалів і погіршує їх декоративні якості. Захисні заходи, прийняті в потрібний час, підвищують термін служби кам'яних природних матеріалів, зберігаючи при цьому їх колір і декоративні якості на тривалий час. Захисні заходи вибираються виходячи з особливостей каменю та умов його роботи. Заходи щодо захисту кам'яних матеріалів в конструкціях будівель і споруд можна поділити на дві групи: конструктивні та хімічні. Конструктивні заходи захищають камінь від сильного зволоження хорошим стоком води, провітрюють, використовують гладкі поверхні, що виключають скупчення дощових і снігових вод, необхідна надійна герметизація швів. Хімічні заходи включають в себе просочення пористого каменю спеціальними складами, які ущільнюють поверхню і запобігають її руйнування від проникнення вологи. Флюатіровання - просочування верхнього шару пористих каменів розчинами солей кремнійфтористим - водневої кислоти. Ідея даного методу виникла у російського вченого Д.І. Менделєєва, способи застосування розробив Н.А. Белелюбський.

#### Список літератури

1. Медовый В.С. Методы микроскопического анализа, -М.: 2009.-264 с.
2. Сергеева Н.Е. Введение в электронну мікроскопію мінералів – М.: Изд.-во Моск. Ун-ту, 1989. -144 с.
3. Кулаков Ю.А. Електронна мікроскопія /Ю.А. Кулаков, - М.: Знание, 1998, -64 с.
4. Зуєвська Н.В. Змінна міцнісних характеристик гранітних блоків в залежності від способу видобування: Вісті Донецького гірничого інституту ДВНЗ «ДонНТУ». – 2012.-№1(30)-2(31). – С.417-476.
5. Зуєвська Н.В. Вплив технології видобування природного каменю на його міцнісні характеристики: Зб. наук. праць Дон НТУ. – 2012. - №1(20)-2(21). – С. 3-9.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.  
Надійшла до редакції 18.11.13*

## СТВОРЕННЯ ЄДИНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВИЩИМ НАВЧАЛЬНИМ ЗАКЛАДОМ НА ПРИКЛАДІ ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Предложено построение единой автоматизированной информационной системы, которая охватывает процессы оперативного управления высшим учебным заведением, на примере Днепродзержинского государственного технического университета. Использован онтологический метод моделирования информационной системы на базе многомерных моделей, с помощью которого можно разработать инфологическую модель автоматизированной информационной системы.

Запропоновано побудову єдиної автоматизованої інформаційної системи, яка охоплює процеси оперативного управління вищим навчальним закладом, на прикладі Дніпродзержинського державного технічного університету. Використано онтологічний метод моделювання інформаційної системи на базі багатовимірних моделей, за допомогою якого можна розробити інфологічну модель автоматизованої інформаційної системи.

There was proposed a unified automated information system design that touches various university operations management processes by the example of Dniprodzerzhynsk State Technical University (DSTU). Also there was proposed to use an ontological method of information system modeling based on multivariate models that can be used for information system's infological model development.

**Вступ.** На сьогоднішній день все більше зростає роль інформаційних технологій (ІТ) в освіті. Ці технології з одного боку забезпечують розвиток єдиного інформаційного простору (ІП) освітніх ресурсів, а з іншого – дозволяють оптимізувати інформаційні процеси, що мають місце в ході функціонування освітніх закладів.

Розробка і впровадження автоматизованих систем, безперечно, дозволяють підвищити ефективність управління вищими навчальними закладами (ВНЗ) як суб'єктами господарської діяльності.

На сьогоднішній день ВНЗ – це навчально-науковий виробничий комплекс, який надає освітні послуги, забезпечує підвищення кваліфікації фахівців і проводить наукові роботи та дослідження. Інформація є основним ресурсом ВНЗ, яка дозволяє вибудовувати його цілі і завдання, координувати діяльність всіх підрозділів, вживати своєчасні правильні обґрунтовані рішення для досягнення єдиних стратегічних завдань розвитку. Застосування сучасних розвинених ІТ дозволяє своєчасно надавати інформаційні ресурси, які зберігаються як у локальних (у самому ВНЗ), так і глобальних комп'ютерних мережах, збирати інформацію про навчальні процеси та відстежувати успішність кожного студента на всіх етапах, постійно контролювати якість викладання. Але на основі такої розвинутої інформаційної інфраструктури не забезпечуються ефективні комунікації між суб'єктами системи в процесі вироблення та прийняття управлінських рішень, тобто не підтримується взаємозв'язок функцій організаційного управління (планування, організація та контроль).

**Постановка завдання.** Найбільш ефективним шляхом автоматизації управління ВНЗ є створення єдиного ІП. Вирішення цієї проблеми зводиться до побудови єдиної автоматизованої інформаційної системи (АІС) ВНЗ. Тому важливим завданням ВНЗ є впровадження ІТ не тільки в освітній процес, а й у систему управління навчальним закладом в цілому.

**Результати роботи.** Під інформаційною системою (ІС) будемо розуміти сукупність технічного, програмного, організаційного забезпечення та персоналу, призначеного для того, щоб своєчасно забезпечувати відповідних людей належною інформацією (відомості про що-небудь, незалежно від форми їх подання) [1]. ІС складається з джерела інформації, апаратної частини ІС, програмної частини ІС і інформації для споживача. АІС будемо розглядати як комплекс програмних, технічних, інформаційних, лінгвістичних, організаційно-технологічних засобів і персоналу, призначений для збору, первинної обробки, зберігання, пошуку, вторинної обробки та видачі даних у заданій формі (вигляді) для вирішення різноманітних професійних завдань користувачів системи. Структура і функціональні можливості АІС ВНЗ, з точки зору впливу на організацію навчального процесу, складаються з наступних компонентів:

- ✓ локальна обчислювальна мережа – це апаратна, програмна і комунікаційна основа АІС (враховує територіальну розподіленість вузлів мережі, сегментацію трафіку, можливість поетапного нарощування своїх функцій з урахуванням нових ІТ);
- ✓ інформаційно-довідкова служба – це інформаційний ресурс АІС (передбачає логічну організацію зберігання інформації, обслуговування запитів, забезпечення санкціонованого доступу і захист інформації);
- ✓ автоматизовані робочі місця – клієнтські підсистеми (забезпечують інтерфейси користувачів для доступу до інформаційних ресурсів АІС та автоматизацію виконання функціональних завдань з обробки інформації).

На сьогоднішній день Дніпродзержинський державний технічний університет (ДДТУ) має три форми навчання: денну, заочну та екстернат. У ВНЗ працюють аспірантура, докторантура та післядипломна освіта. У складі університету функціонує 6 факультетів, 33 кафедри, 2 коледжі і 1 технікум. Студенти отримують в ДДТУ освіту за 23 напрямками з 28 спеціальностей. Процеси діяльності ДДТУ представляє онтологічна модель [2]. Навчання у ВНЗ проводиться за Болонською кредитно-модульною системою, яка передбачає 2 семестри, в кожному з яких по 2 модуля. Процес навчання в ДДТУ представлено на рис. 1.

Навчально-методичну роботу в ДДТУ здійснюють 33 кафедри, на яких працюють 39 докторів наук, професорів; 191 кандидат наук, доцент; 3 Заслужених діяча науки і техніки; 3 Заслужених працівника вищої школи України; 1 лауреат Державної премії України; 10 дійсних членів галузевих академій наук України; викладачі без вчених ступенів. Інформація про педагогічний склад ДДТУ (рис. 2) представляється у вигляді зв'язку викладачів з дисциплінами, які він викладає. Створення такого взаємозв'язку ефективно використовується в підсистемах «Формування розкладу», «Акредитаційна справа ВНЗ» та «Розрахунок навантаження».

Процес навчання в ДДТУ							
Рік	2009	2010	2011	2012	2013		
Семестр	1 семестр			2 семестр			
Модуль	1 модуль			2 модуль			
Місяць	лютий	березень	квітень	травень			
Тиждень	1	2	3	4			
День	1	2	3	4	5	6	7

Рис. 1. Онтологічна модель «Процес навчання в ДДТУ»

Педагогічний склад ДДТУ				
Посада	Доктори	Доценти	Викладачі	Практиканти
ШЕ	Ялова К.М.	Яшина К.В.	Бабенко М.В.	Божуха Л.М.
Дисципліна	Алгоритми та структури даних		Проектування АІС	Технології та засоби створення ПЗ АСУ

Рис. 2. Онтологічна модель «Педагогічний склад ДДТУ»

Сьогодні багатогалузевий фонд бібліотеки налічує 557 тис. примірників літератури українською, російською, англійською, німецькою та іншими мовами. Фонди бібліотеки розкриті системою каталогів і картотек: алфавітними, систематичним, електронним. Наукова бібліотека має електронні каталоги (книг, статей і журналів) із загальною кількістю записів понад 100 000. Для ефективної роботи з електронними каталогами літератури розроблена онтологічна модель «Література бібліотеки ДДТУ», що застосовується в підсистемах «Облік боржників літератури» і «Оновлення бібліотечного фонду» (рис. 3).

З куба може бути складений звичайний плоский звіт. По стовпчиках і рядках звіту розташовані категорії (грані куба), а в осередках – показники.

Для автоматизованого контролю належного рівня навчально-методичного та інформаційного забезпечення підготовки фахівців література бібліотечного фонду була структурована з використанням моделі, наведеної на рис. 4. У цій моделі літературні видання зв'язані зі спеціальностями, напрямами підготовки і дисциплінами.



Рис. 3. Онтологічна модель «Література бібліотеки ДДТУ»



Рис. 4. Інформаційна модель предметної області «Література» в ДДТУ

Важливу роль у діяльності ВНЗ відіграє адміністративно-господарський процес, який включає контроль витрачання енергетичних, теплових та інших ресурсів; матеріально-технічне забезпечення всіх видів діяльності ВНЗ; керування транспортним та складським господарством ВНЗ; контроль стану, ремонту та підготовки до навчального процесу навчальних корпусів і гуртожитків ВНЗ. В даний час мережа об'єднує 7 корпусів університету (понад 700 комп'ютерів); можливість виходу в інтернет є з усіх комп'ютерних класів, кафедр, деканатів, інших підрозділів. Структура, що представлена на рис. 5, використовується для надання інформації підсистемами «Інвентаризація ВНЗ», «Формування розкладу», «Облік енергоносіїв» та «Облік проведення інструктажів з техніки безпеки». Для обліку основних фондів та визначення якісних показників за

площею навчальних приміщень по університету, яка припадає на 1 студента, застосовується ієрархія приміщень ВНЗ.

Корпуси ДДТУ							
Вид будівлі Корпус Поверх Презначення Кімната	Загального призначення			Навчальні		Спортивні	
	I	II	III	V		VI	
	1		2		3		4
	Лабораторна		Викладацька		Аудиторія		Туалет
	33	34	35	36	37	38	39

Рис. 5. Онтологічна модель «Корпуси ДДТУ»

За даними інвентаризації комп'ютерного обладнання в ДДТУ налічується понад 1000 одиниць, з яких 757 ЕОМ, інше – периферія. З метою автоматизації управління господарського процесу впроваджено програмний продукт «Облік комп'ютерної техніки ДДТУ». Для кожного типу устаткування (рис. 6) розглядається зв'язок з встановленим програмним забезпеченням, що має особливу цінність при проведенні обліку ліцензійного програмного забезпечення у ВНЗ.

Технічне устаткування ДДТУ				
Вид Тип Обладнання ЦІЗ	Комп'ютери в зборі		Периферія	
	AMD Athlon	AMD Phenom	Intel Core	Intel Celeron
	Intel Core i7-920; 2,66 GHz; 4096 Mb; PC-6400; 500 Gb GeForce		Intel Core i7-920; 2,66 GHz; 4096 Mb; PC3-12800; 1000 Gb	
	Windows 7 Professional 64-bit	Office 2010 Basic	Microsoft Visual Studio 2010 Express Edition	

Рис. 6. Онтологічна модель «Технічне устаткування ДДТУ»

Особливої уваги при проведенні акредитації спеціальностей та ВНЗ в цілому заслуговує матеріально-технічне забезпечення підготовки фахівців з урахуванням норм і якісних показників. Для підтримки автоматизованого відстеження поточного стану матеріально-технічного забезпечення застосовується модель, яка зображена на рис. 7.

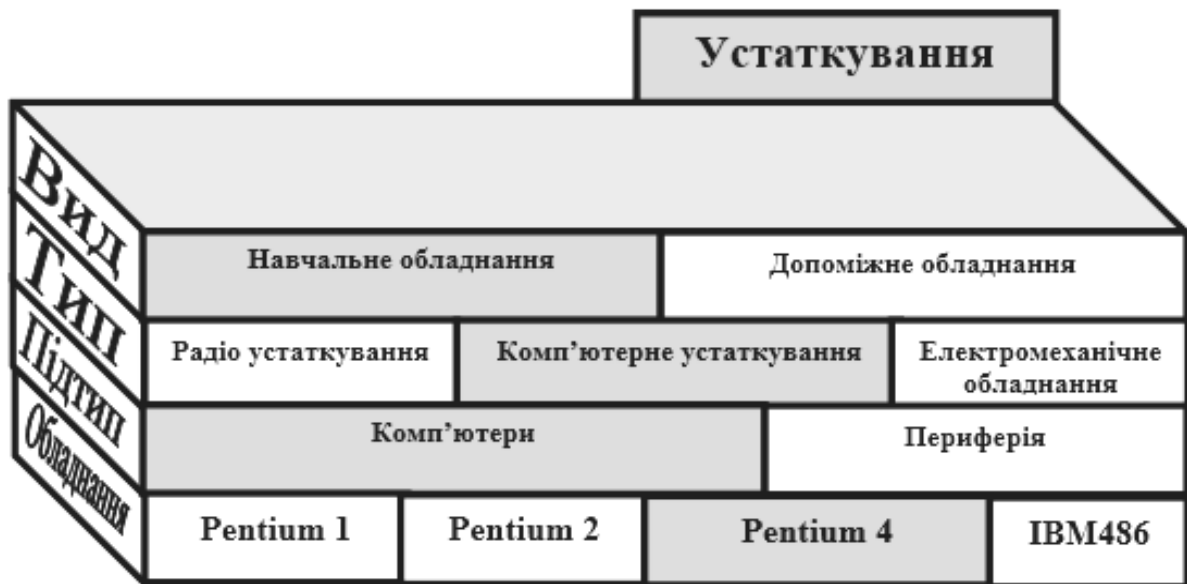


Рис. 7. Онтологічна модель «Устаткування» в ДДТУ

Фінансова діяльність ВНЗ, яка включає в себе процеси контролю і управління рухом грошових ресурсів, які забезпечують здійснення всіх розглянутих видів діяльності, реалізована такими програмними продуктами, як підсистема «Планування та облік відряджень ДДТУ» (рис. 8).



Рис. 8. Модель підсистеми «Планування та облік відряджень ДДТУ»

Моделі, наведені на рис. 1-8 дозволяють відображати будь-яку інформацію про матеріальні, трудові, енергетичні, фінансові ресурси в рамках завдань автоматизованого обліку, аналізу діяльності, контролю стану в рамках даної предметної області. Володіють властивостями універсальності, масовості, адекватності і можуть бути застосовані для будь-якого ВНЗ України.

**Висновки.** Ґрунтуючись на теорії системного аналізу та синтезу організаційного управління [3,4] й методологіях автоматизації проектування інформаційно-технологічних процесів і систем, авторами запропоновано створення

єдиного ПІ, який зводиться до побудови єдиної АІС, що охоплює процеси оперативного управління ВНЗ. Використано онтологічний метод моделювання ІС на базі багатовимірних моделей. З його допомогою розроблено інфологічну модель АІС, що повністю відображає прагматику досліджуваної системи, тобто не потребує використовувати ніяких додаткових методів для її створення.

#### Список літератури

1. William S. Davis, David C. Yen The Information System Consultant's Handbook. Systems Analysis and Design. — CRC Press, 1998. — 800 с.
2. Крамаренко В.В., Яловая Е.Н., Завгородний В.В. Онтологическая модель и технологии создания информационного портала ВУЗа // Вісник Академії митної служби України. Серія «Технічні науки». – Дніпропетровськ:АМСУ, 2010. – №2 (44), С. 163-169.
3. Г. Кунц, С. О'Доннел. Управление: Системный и ситуационный анализ управленческих функций // Пер. с англ. под общей ред. Д. М. Гвишиани. М.: Прогресс, 1981. 491 с.
4. Клиланд Д., Кинг В. Системный анализ и целевое управление // Пер. с англ. М. М. Горянова, А. В. Горбунова под ред. И. М. Верещагина. М.: Сов. радио, 1974. 280 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Мещеряковим Л.І.  
Надійшла до редакції 29.10.13*

УДК 622.685: 531.8

© Л.И. Мещеряков, С.Д. Приходченко

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ВНУТРИФАБРИЧНОГО ГИДРОТРАНСПОРТА С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА КОНТРОЛЯ ПО ПРЕДСКАЗЫВАЮЩЕЙ МОДЕЛИ**

Рассматривается моделирование системы автоматизации внутрифабричного гидротранспорта на основе контроля по предсказывающей модели. Проведено сравнение предлагаемой системы с аналогами, основанными на применении ПИД-регулятора.

Розглядається моделювання системи автоматизації внутріфабричного гідротранспорту на основі контролю за моделлю, що передбачає. Проведено порівняння пропонованої системи з аналогами, заснованими на застосуванні ПІД-регулятора.

The design is considered of the system of automation of the vnutrifabrichnogo hydraulic conveying on the basis of control on the predictive model. The comparison is conducted of the offered system with the analogues, based on application of ПИД-regulator.

В качестве одной из подзадач автоматизации горно-обогатительных предприятий весьма остро на сегодняшний день стоит проблема автоматизации транспортных линий ГОКов, о чем свидетельствуют работы [1, 2]. Следовательно, построение модели гидротранспортной сети горно-обогатительного предприятия, учитывающей ранее не рассмотренные аспекты, является актуальной задачей.



Базовыми элементами гидротранспортных сетей являются шламовые насосы. Для представления шламового насоса в виде системы роторов Джеффкотта-Лавалья можно считать, что каждая движущаяся деталь механизма представлена в виде ротора Джеффкотта-Лавалья, соединенного с соседними элементами упругим соединением. Тогда, структурную схему шламового насоса, представленного в виде многомассовой системы роторов можно описать как схему, которая показана на рис. 1.

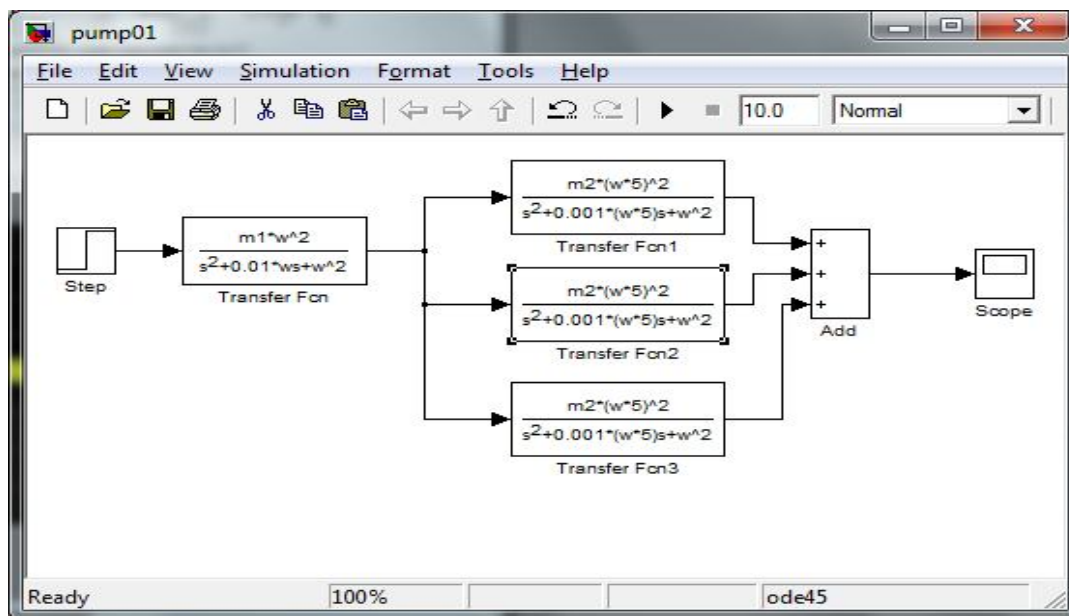


Рис. 1. Структурная схема шламового насоса

Передаточная функция системы, приведенной на рис 1, представляет собой выражение вида (1)

$$G(s) = \frac{Num(s)}{Den(s)}$$

$$Num(s) = 6.1 \cdot 10^{10} s^6 + 1.7 \cdot 10^{12} s^5 + 1.1 \cdot 10^{17} s^4 + 2.1 \cdot 10^{18} s^3 + 6.91 \cdot 10^{22} s^2 + 6.5 \cdot 10^{23} s + 1.4 \cdot 10^{28}$$

где

$$Den(s) = s^{10} + 47.12 s^9 + 2.5 \cdot 10^6 s^8 + 9.4 \cdot 10^7 s^7 + 2.3 \cdot 10^{12} s^6 + 6.6 \cdot 10^{13} s^5 + 9.9 \cdot 10^{17} s^4 + 1.9 \cdot 10^{19} s^3 + 1.7 \cdot 10^{23} s^2 + 1.6 \cdot 10^{24} s + 3.6 \cdot 10^{27}$$

(1)

На рис. 2 показана ступенчатая реакция модели шламового насоса.

Реакция системы высоко колебательная, как и ожидалось при коэффициенте затухания = 0,001.

Основным преимуществом использования замкнутой системы контроля перед незамкнутой, является уменьшение чувствительности системы к внешним и внутренним возмущениям, влияющим на систему. Внутренние измене-

ния здесь конечно будут характеризованы изменениями в значениях основных параметров системы.

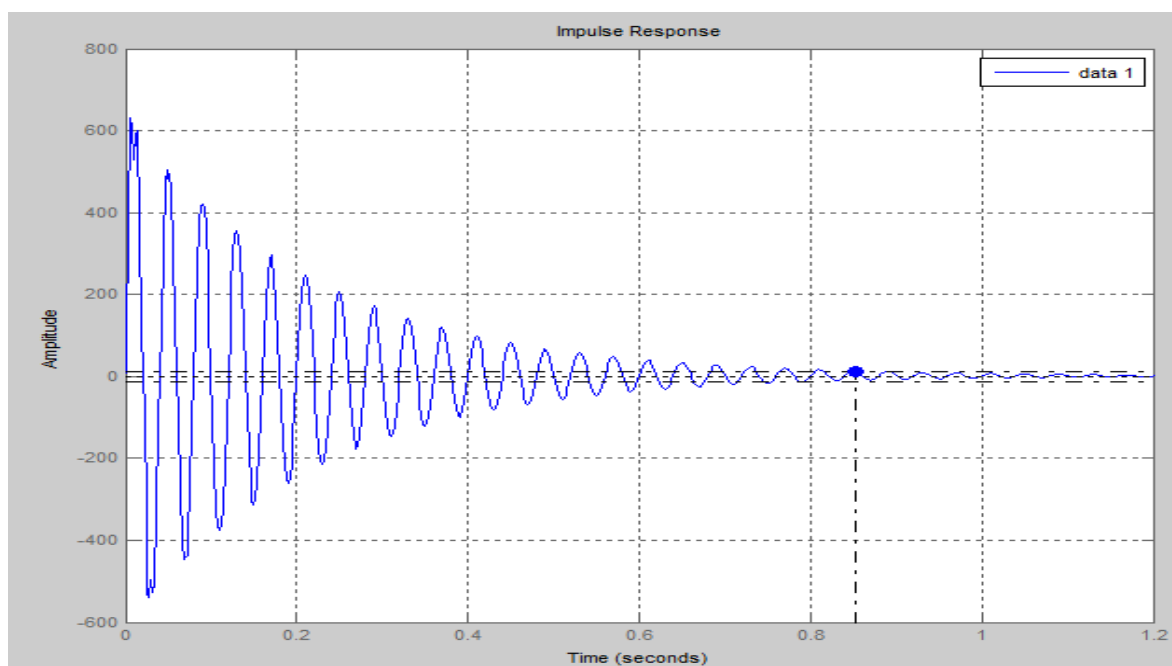


Рис. 2. Реакция модели шламового насоса на ступенчатое воздействие

Внешние изменения, которые влияют на производительность, будут определяться как возмущения. Эти возмущения отражаются как изменения в окружающей среде системы, способные влиять на производительность. Примерами возмущений могут являться волны на выходе управляемой системы. Ниже приведено моделирование только для модели ротора Джеффкотта-Лавала и определенных возмущений.

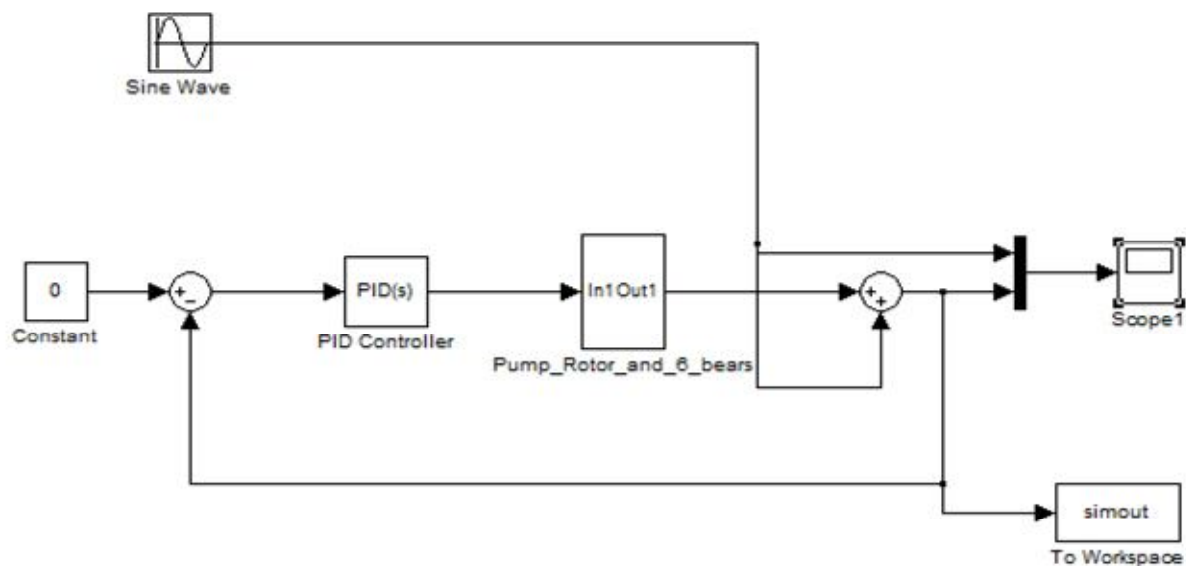


Рис. 3. Схема моделирования насоса с ПИД-регулятором

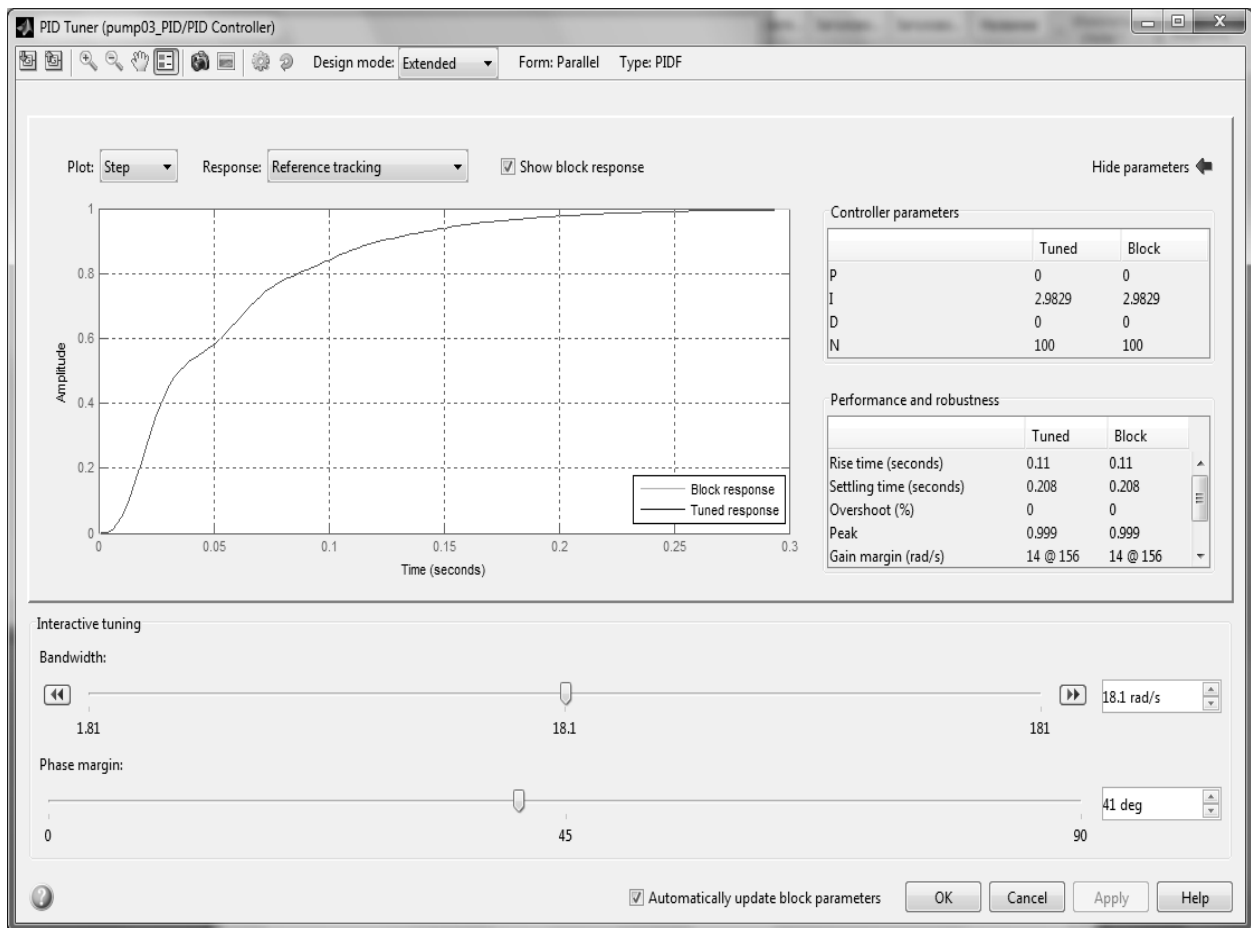


Рис. 4. Вариант ПИД-регулятора и его параметры

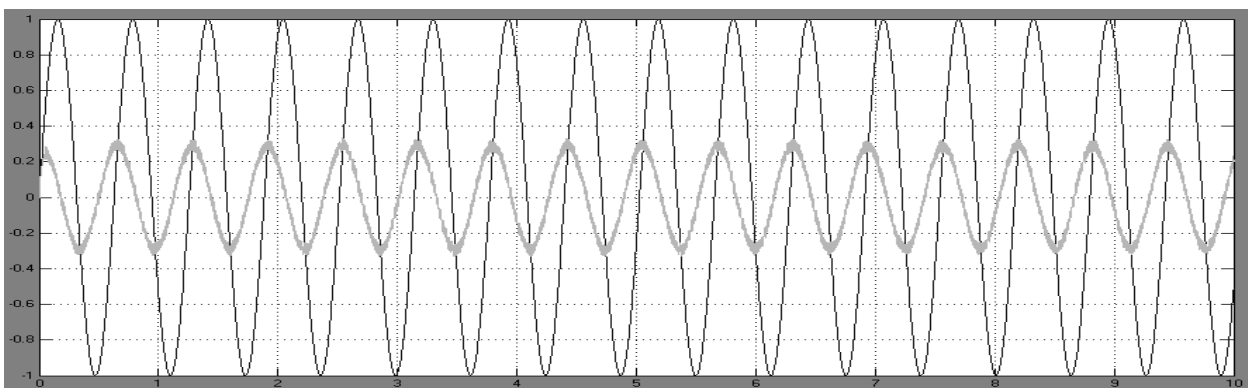


Рис. 5. Регулирование ПИД-регулятором. Частота 10 Гц. серая – выходное значение смещения ротора, черная – возмущения.

Контроль по предсказывающей модели (КПМ) использует:

- встроенную динамическую модель процесса;
- историю прошлых управляющих решений;
- функцию оптимизации затрат  $J$  над горизонтом предсказания, для вычисления оптимальных управляющих воздействий.

КПМ – стратегия управления, которая использует модель процесса для прогнозирования ответа на будущий промежуток, определяемый как горизонт прогноза. Будущее состояние на входах управления в свою очередь определяется пу-

тем минимизации индивидуальных критериев, например, отклонением от желаемой уставки, более (части) этого будущего интервалом, контроль горизонта. На самом деле реализуются только значения вычисленных оптимальных ходов управления для первого образца и алгоритм повторяет ту же процедуру для следующего образца. Основным преимуществом КПМ является ограничение пропускной способности: в отличие от большинства других стратегий контроля, ограничения на входы и выходы могут быть включены в КПМ-оптимизацию [3]. Еще одним преимуществом КПМ является его способность предвидеть будущие события, как только они проявляются на горизонте прогноза.

Закон КПМ-управления может быть легко представлен следующей иллюстрацией.

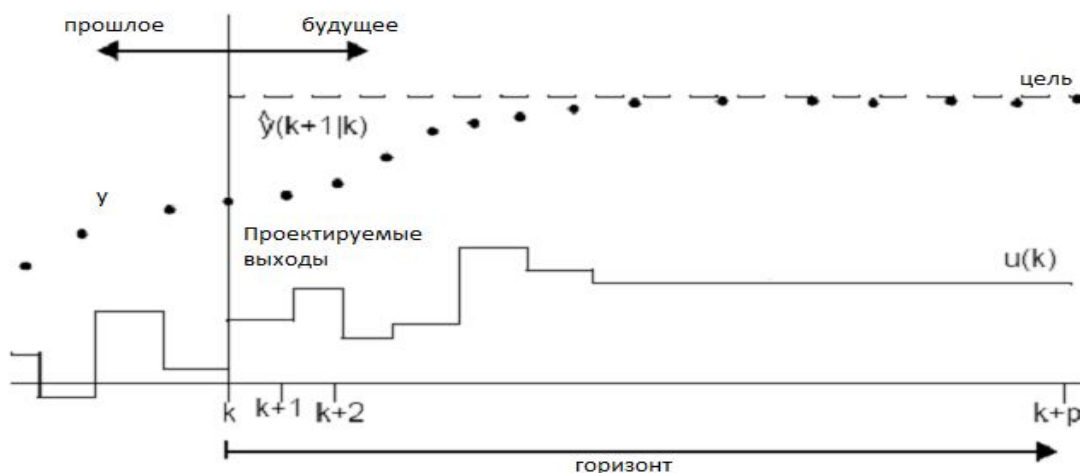


Рис. 6. Закон управления КПМ

В случае шламового насоса рассматривается следующая структура: насос, приводится в движение приводом, перед которым установлен КПМ-контроллер. Обратная связь от насоса поступает на вход контроллера. Также учитывается возмущения модели и возмущения насоса (рис. 7).

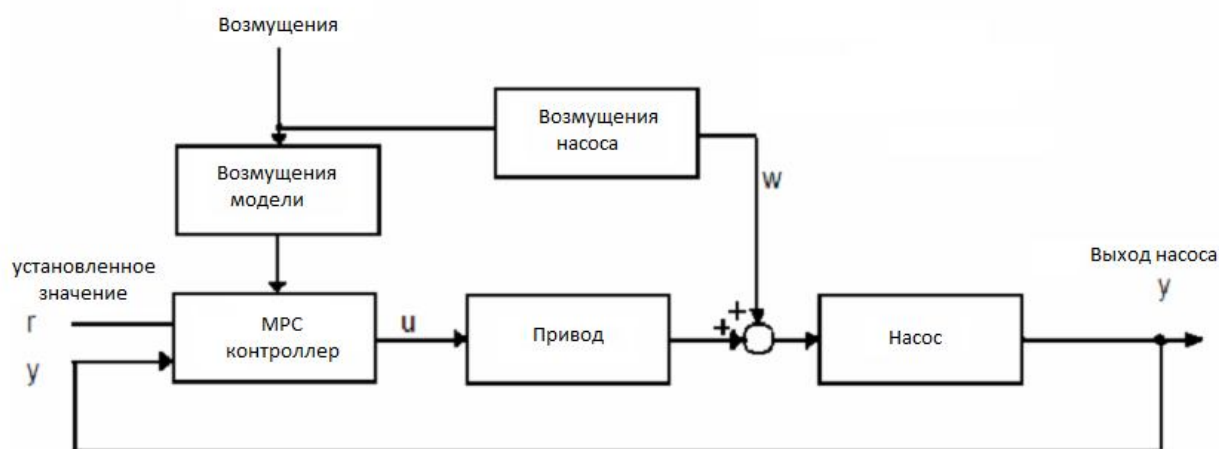


Рис. 7. Замкнутая система с КПМ

Возмущения описаны как простая синусоида с частотой вращения рабочего колеса насоса или частотой вращения подшипников. Шум измерений может быть смоделирован, как невзвешенное волнение. Для точности моделирования необходимы следующие переменные: привод и насос – модели в шаговом формате КПМ, используемом для оценки состояния в контроллере КПМ.

Для любого предполагаемого набора настоящих и будущих управляющих воздействий  $Du(k), Du(k + 1), \dots, Du(k + m - 1)$  будущее поведение выходов процесса  $y(k + 1|k), y(k + 2|k), \dots, y(k+p|k)$  может быть предсказано по горизонту прогноза  $p$ .  $m$  текущих и будущих управляющих воздействий ( $m \leq p$ ) вычисляются для минимизации квадратичной цели формы (2)

$$\begin{aligned} \min_{\Delta u(k) \dots \Delta u(k+m-1)} & \sum_{l=1}^p \|\Gamma_l^y (y(k+l|k) - r(k+l))\|^2 + \\ & + \sum_{l=1}^m \|\Gamma_l^u (\Delta u(k+l-1))\|^2 \end{aligned} \quad (2)$$

Здесь используются матрицы весов для вычисления отдельных компонентов  $u$  или  $y$  на определенных промежутках времени будущего.  $r(k+l)$  – вектор будущих эталонных значений (уставки). Хотя рассчитывается  $m$  управляющих воздействий, применяется только  $(Du(k))$  первое из них. На следующем интервале контроллер получает новые значения измеряемого выхода, горизонт контроля смещается на один шаг и повторяется вышеописанный цикл вычислений. В результате закон управления называют «движущийся горизонт» или «уходящий горизонт».

«Предвидимые» выходы процесса  $y(k+1|k), \dots, y(k+p|k)$ , зависят от текущего измерения  $\hat{y}(k)$  и от предположений, которые мы делаем о неизмеримых нарушениях и измерениях шума, влияющие на выходы.

Вышеописанная модель рассчитана в системе Matlab при помощи системы MPC Toolbox. Общим представлением линеаризованного инварианта дискретного времени в пространстве состояний, используемом в MPC Toolbox, является (3)

$$\begin{aligned} x(k+1) &= \Phi x(k) + \Gamma_u u(k) + \Gamma_d d(k) + \Gamma_w w(k) \\ y(k+1) &= \bar{y}(k) + z(k) = Cx(k) + D_u u(k) + D_d d(k) + D_w w(k) + z(k) \end{aligned} \quad (3)$$

где  $x$  – вектор из  $n$  состояний переменных;  $u$  представляет  $n_u$  управляемых переменных;  $d$  представляет  $n_d$  измеряемых, но свободно изменяющихся переменных (измеряемые возмущения);  $w$  представляет  $n_w$  неизмеряемых свободно изменяющихся переменных;  $y$  – вектор  $n_y$  выходов объекта управления;  $z$  – из-

мерение шума;  $\Phi$  и  $\Gamma$  – матрицы постоянных соответствующих размеров. Переменная  $\hat{y}(k)$  представляет собой выход объекта без добавления шума.

Определяются величины  $\Gamma = [\Gamma_u \ \Gamma_d \ \Gamma_w]$ ;  $D = [D_u \ D_d \ D_w]$ .

В качестве модели привода принимается модель, разработанная на основе технической документации на шламовый насос [4], передаточная функция которой находится в следующем виде

$$A(s) = \frac{2474s + 3.53^6}{s^2 + 1.529s + 98565} \quad (4)$$

Передаточная функция возмущений принимается равной частоте работы шламового насоса, т.е. 25 Гц.

$$D(s) = \frac{25 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 25)^2}{s^2 + (2 \cdot \pi \cdot 25)^2} \quad (5)$$

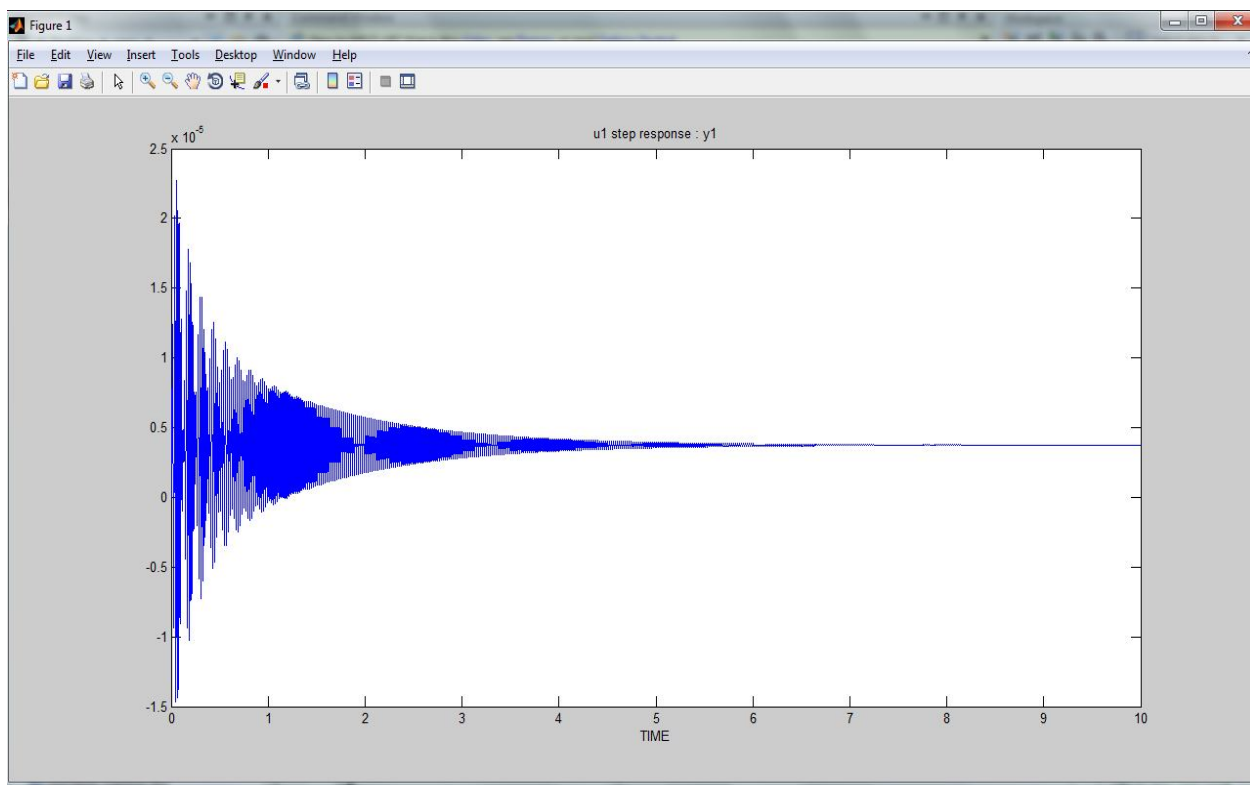


Рис. 8. Реакция двигателя шламового насоса на шаговое воздействие

На рис. 9 представлены результаты моделирования для модели интеллектуального контроллера. Выходное значение смещения ротора показано в первой графе. Второй график представляет значения управляющей переменной. И последний график показывает синусоидальный сигнал, который представляет колебания на резонансной частоте.

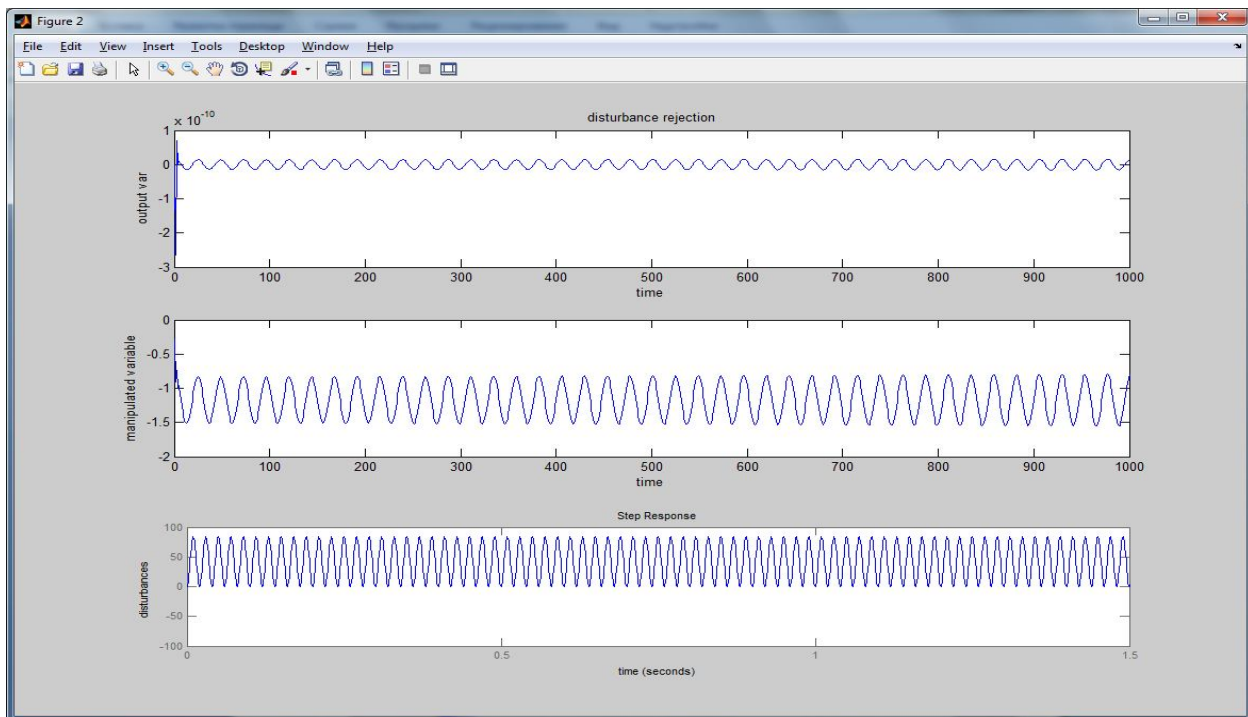


Рис. 9. Результаты моделирования системы, которая управляется КПМ-контроллером

Как видно из полученного графического отображения выходного значения смещения ротора шламового насоса, система в целом работает стабильно, не входя в резонанс. Кроме того, амплитуда колебаний системы на 20 % меньше, чем при регулировании ПИД-регулятором.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение для моделирования системы управления шламового насоса в структуре внутризаводского гидротранспорта многомассовой моделью роторов Джеффкотта-Лавала является оправданным и актуальным. Кроме того, применение в контуре управления метода контроля по предсказывающей модели дает лучшие результаты, нежели применение в аналогичной ситуации стандартного ПИД-регулятора.

#### Список литературы

1. Приходченко С.Д. Построение математической модели шламового насоса и исследование ее динамических характеристик. // Геотехническая механика. Межвед. сб. науч. работ. Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2008. – Вып. 77. – с. 159-166
2. Приходченко С.Д. Экспериментальное исследование процесса гидротранспортирования шлама по потребляемой двигателем насоса мощности // Гірнична електромеханіка та автоматика: наук.-техн. зб. – Дніпропетровськ, НГУ, 2006 – вип 77. – с. 113-119
3. Rolf Findeisen and Frank Allgöwer. An introduction to nonlinear model predictive control. In 21st Benelux Meeting on Systems and Control, Veidhoven, pages 1–23, 2002.
4. Центробежные грунтовые и фекальные насосы. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1971, 67 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 11.11.13*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ

Приведены результаты исследований загрязнения атмосферы выхлопными газами карьерного автотранспорта.

Наведено результати досліджень забруднення атмосфери вихлопними газами кар'єрного автотранспорту.

The results of studies of air pollution by exhaust gases of vehicles career.

**Вступ.** У цей час більш 75 % усієї гірничої маси, що добувається у кар'єрах України, перевозиться великовантажними автосамоскидами. Кар'єрні автосамоскиди витрачають значну кількість палива, яке є найважливішим економічним показником експлуатації кар'єрного автотранспорту. Крім того, великовантажні автосамоскиди є інтенсивними пересувними джерелами забруднення повітря, що постійно діють в кар'єрах, а витрати дизельного палива визначають рівень забруднення атмосфери продуктами його згорання. Утворення токсичних речовин при спалюванні дизельного палива кар'єрними автосамоскидами пов'язані з режимом роботи двигуна, який залежить від технічних характеристик двигуна автосамоскиду, ваги вантажу, характеристики траси, її протяжності і ухилів у кар'єрі. Вихлопні гази двигунів кар'єрного автотранспорту представляють складну багатоконпонентну суміш і сьогодні в їх складі визначається вже більше 280 різних компонентів, серед яких такі токсичні речовини як: оксид вуглецю, вуглеводні з'єднання, альдегіди, оксиди азоту, діоксид сірки, тверді частинки сажі, а також поліциклічні ароматичні вуглеводні, найбільш активною з яких є канцерогенна речовина - бензапирен. Викиди відпрацьованих газів з низькорозміщених вихлопних труб викликають таке забруднення природного довкілля, яке можна порівняти з дією на атмосферу приземного шару великих промислових підприємств. В зв'язку з цим, дослідження забруднення атмосфери вихлопними газами кар'єрного автотранспорту є актуальною екологічною задачею.

**Метою досліджень** є встановлення фактичних даних з забруднення атмосфери токсичними речовинами при спалюванні органічного палива великовантажними автосамоскидами, що постійно діють у кар'єрах.

**Результати досліджень.** Дослідження були проведені на кар'єрах Вільногірського гірничо-металургійного комбінату. Програма досліджень включала 3 етапи:

- оцінка умов та особливостей експлуатації великовантажних автосамоскидів на Вільногірському ГМК;
- створення комп'ютерної бази даних щодо технологічних і екологічних показників роботи кар'єрного автотранспорту;
- розрахунки та графоаналітична обробка експериментальних даних щодо забруднення атмосфери продуктами згорання дизельного палива при експлуатації великовантажних кар'єрних автосамоскидів.

Для оцінки умов та особливостей експлуатації великовантажних автосамоскидів на Вільногірському ГМК був виконаний аналіз техніко-економічних



показників експлуатації великовантажного кар'єрного автотранспорту (БелАЗ-7540) шляхом використання даних різної міри узагальненості і детальності за період з 2003 по 2013 рік. Основні середні показники експлуатації кар'єрного автотранспорту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні показники експлуатації великовантажних кар'єрних автосамоскидів на Вільногірському ГМК

Параметри	Середнє значення
Середня відстань транспортування, км	0,9283
Продуктивність 1 середньооблікового автосамоскида, тис. ткм	452,1
Середньооблікова кількість автосамоскидів, од.	36,983
Обсяг перевезень, тис.т	17638,96
Обсяг перевезень по руді, тис.т	5573,023
Обсяг перевезень по розкриву, тис.т	12064,283
Вантажообіг, тис.ткм	16558,25
Коефіцієнт використання пробігу	0,42216
Коефіцієнт використання парку	0,63183
Експлуатаційна швидкість, км/год	11,083
Лінійний витрата палива на 100 км пробігу	144,6
Середнє завантаження автосамоскидів, т	41,016

Динаміка показників і умов експлуатації кар'єрного автотранспорту приведена на рисунках 1–4. На рисунку 1 показана динаміка зміни комплексних показників ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів. На рисунку 2 та 3 приведені результати аналізу фактичних витрат палива по місяцях та по сезонах року, а на рисунку 4 – динаміка зміни питомих витрат палива автосамоскидів.

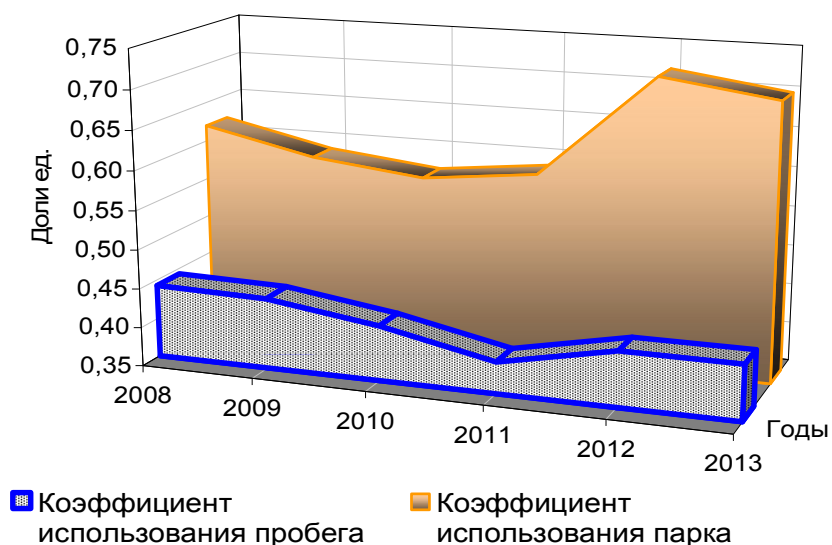


Рис.1. Динаміка комплексних показників ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів

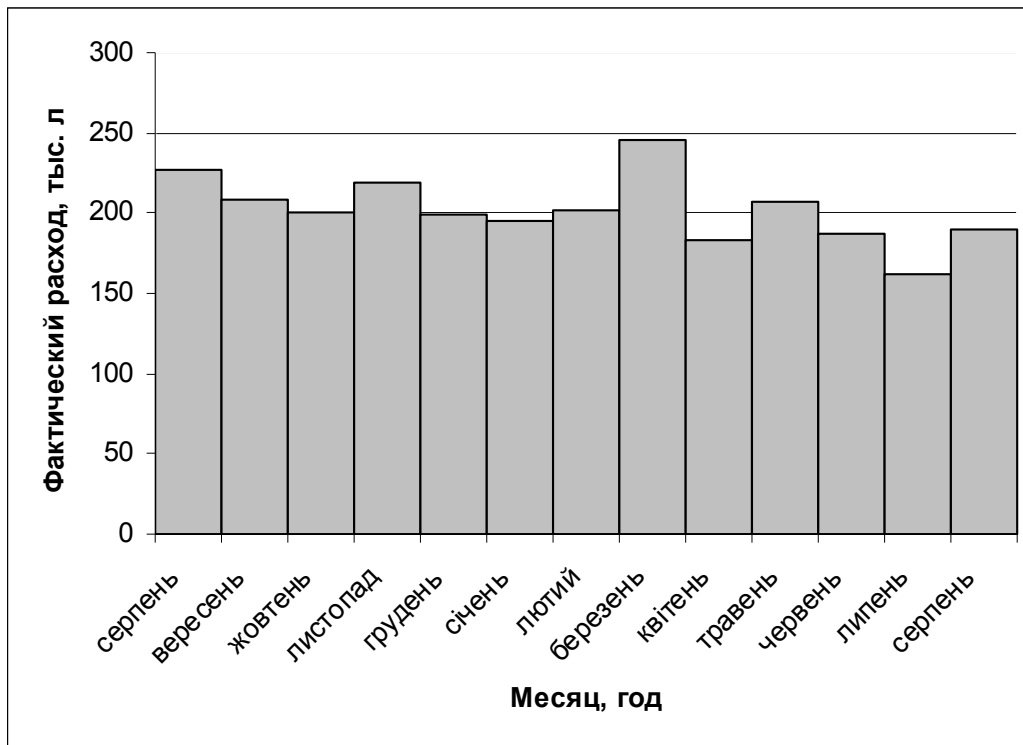


Рис. 2. Сумарна фактична витрата палива автосамоскидами по місяцях

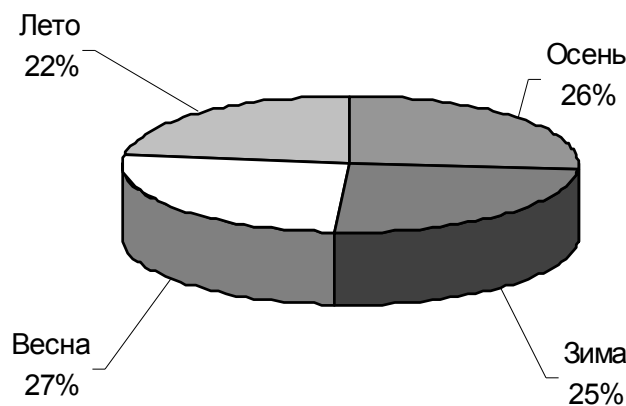


Рис.3. Аналіз витрати палива по сезонах року

Найбільш важливими показниками інтенсивності експлуатації кар'єрних автосамоскидів є експлуатаційна швидкість та витрата палива, які враховують простої впродовж рейсу і внутрішньозмінні простої, що характеризують втрати автосамоскидами робочого часу впродовж зміни через дію різних причин.

Чинники, що впливають на формування умов експлуатації кар'єрного автотранспорту, можна умовно розділити на дві групи:

- чинники, що роблять істотний вплив на транспортний процес;
- чинники, що практично не впливають на процес перевезення вантажів, включаючи елемент випадковості, властивий будь-яким багатofакторним системам.

Серед істотних чинників можна виділити: дорожні умови; кліматичні умови; гірничотехнічні умови (спосіб залягання корисної копалини, складність

виїмки і транспортування гірничих порід, експлуатаційні характеристики кар'єру). Таким чином можна констатувати, що процес руху автотранспорту в кар'єрах являє собою складний, динамічний і ресурсномісткий процес, що характеризується великою варіативністю умов експлуатації, необхідністю високого ступеня детальності розрахунків при визначенні таких параметрів як: енергетичні показники двигуна, середньотехнічні швидкості руху, витрати дизельного палива на різних ділянках трас.

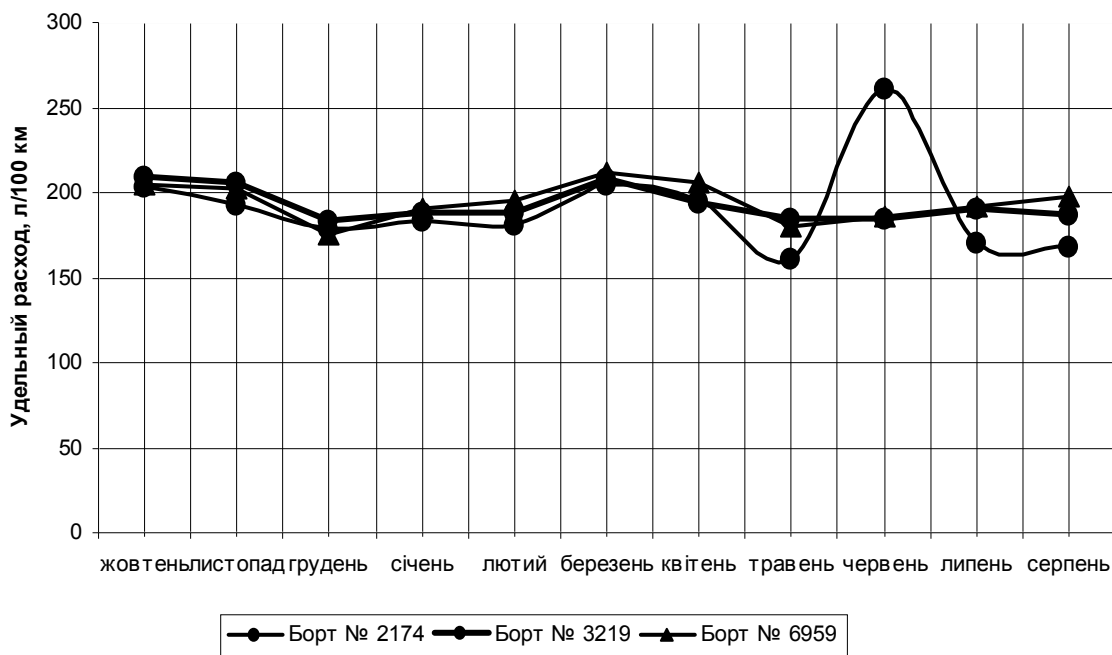


Рис. 4. Динаміка зміни питомих витрат палива автосамоскидів

Виконаний аналіз техніко-економічних показників експлуатації парку великовантажних автосамоскидів БелАЗ-7548 на кар'єрах ВГМК вказує на ще не максимальну ефективність їх експлуатації, значні витрати палива, недозавантаження автосамоскидів і втрати робочого часу з причини простоїв. Стає очевидним необхідність розробки нових технологічних і організаційних рішень щодо підвищення ефективності роботи кар'єрного транспорту, у тому числі з урахуванням екологічних складових. Зокрема, необхідний оперативний облік і контроль за витратою палива і вагою вантажу, що перевозиться кожним автосамоскидом, оптимізація швидкості руху та витрат палива автосамоскидами в залежності від рельєфу шляху, метеоумов, енергетичних характеристик двигуна і ваги вантажу. Це дає можливість досягти максимальної ефективності роботи кар'єрного автотранспорту при мінімальних витратах палива і мінімізувати забруднення атмосфери токсичними речовинами при спалюванні палива великовантажними кар'єрними автосамоскидами.

У першому наближенні під екологічною характеристикою автомобіля можна вважати екологічну характеристику встановленого на ньому двигуна внутрішнього згоряння. Враховуючи, що дизельні двигуни кар'єрних автосамоскидів 40–60 % часу транспортного циклу працюють в режимі повного навантаження, 20–30 % – на часткових навантаженнях і 15–20 % – на холостих обертах,

при розрахунках забруднення атмосфери необхідно розглядати різні рівні концентрації шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу.

На базі загальновідомих даних щодо концентрації токсичних компонентів у вихлопу двигуна автосамоскиду БелАЗ-7548, які наведені у таблиці 2 [1], та утворення токсичних речовин при спалюванні дизельного палива, що наведені у таблиці 3, були виконані розрахунки та графоаналітична обробка експериментальних даних щодо забруднення атмосфери продуктами згорання дизельного палива при експлуатації великовантажних кар'єрних автосамоскидів в умовах Вільногірського ГМК. При розрахунках щільність дизельного палива приймається згідно ГОСТ 305-82 таким чином: для літнього палива не більше  $860 \text{ кг/м}^3$ , для зимового не більше  $840 \text{ кг/м}^3$ .

Таблиця 2

Концентрації токсичних компонентів у вихлопу двигуна автосамоскида БелАЗ-7548

Компонент	Середня концентрація, $\text{мг/м}^3$ при	
	холостому ході і навантаженні двигуна до 50 % номінального навантаження	навантаженні двигуна від 50 % до 100 % номінального навантаження
Альдегіди по акролеїну $(\text{CHO})_n$	50	150
Вуглеці по гексану $\text{C}_n\text{H}_m$	60	90
Окис вуглецю CO	600	1200
Сажа по вуглецю C	50	1000
Оксиди азоту по $\text{N}_2 \text{ O}_5$	1000	2000
Канцероген по 3,4-бензапирену $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$	Менше $10^{-3}$	До $10^{-3}$

Таблиця 3

Утворення шкідливих речовин при спалюванні дизельного палива

Шкідлива речовина	Середнє значення при спалюванні 1 кг дизельного палива, г
CO	7,1
$\text{C}_x\text{H}_y$	16,4
$\text{NO}_x$	26,4
Сажа	13,2
Бензапирен	$10,5 \times 10^{-5}$
$\text{SO}_2$	4,8
Альдегіди	1,2

Розрахунки забруднення атмосфери вихлопними газами великовантажних автосамоскидів були виконані на базі реальних даних шляхом вимірювання поточ-

них значень витрат палива кожним автосамоскидом за допомогою радіонавігаційного обладнання та системи диспетчеризації, що працює на Вільногірському ГМК.

У процесі досліджень була створена комп'ютерна база даних оперативного обліку і контролю за витратою палива та розраховані значення маси шкідливих речовин що забруднюють атмосферу довкілля. Результати розрахунку наведені у таблиці 4.

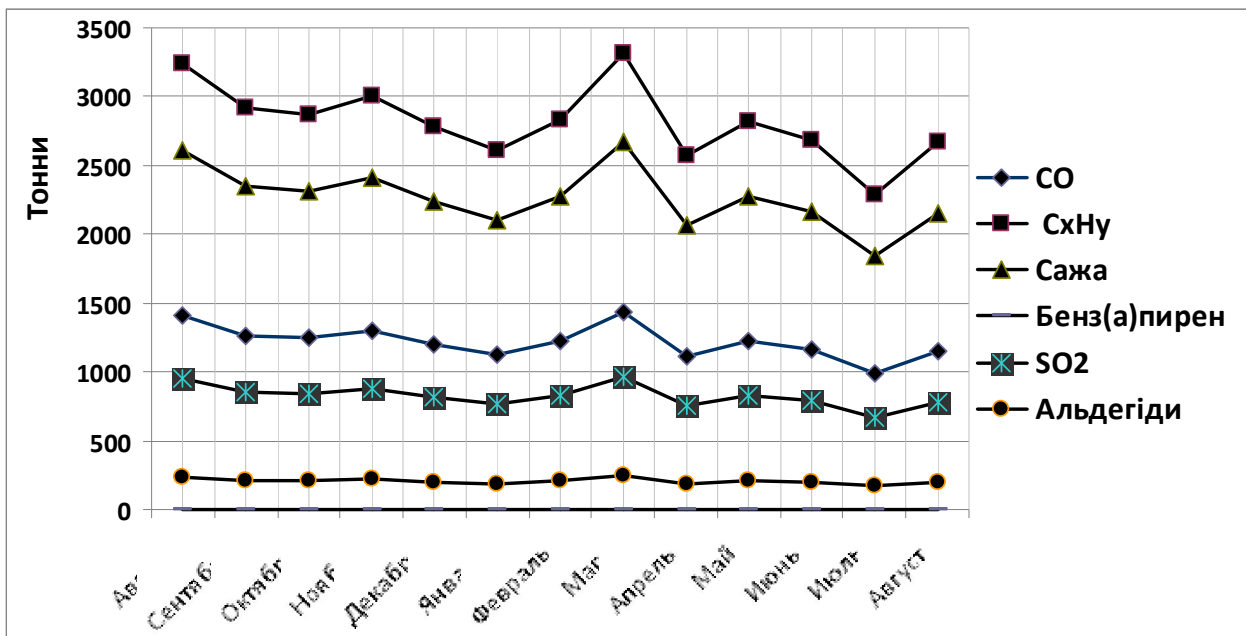


Рис. 5. Графіки зміни фактичних викидів в атмосферу шкідливих речовин автосамоскидами БелАЗ-5748 по місяцях року

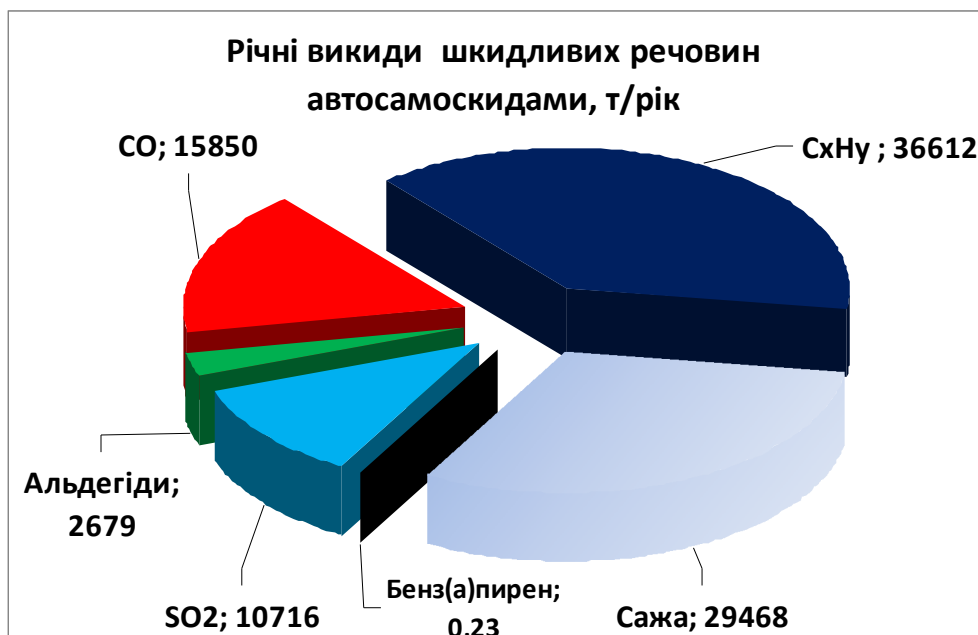


Рис. 6. Діаграма річних викидів шкідливих речовин автосамоскидами БелАЗ-5748 в умовах Вільногірського ГМК

Результати розрахунку річних викидів шкідливих речовин автосамоскидами  
в умовах Вільногірського ГМК

Дата	Фактичний вантаж, тис. т.	Кількість їздок	Питомий вантаж (вантаж/кількість їздок)	Фактична витрата палива, л	Щільність палива, кг/м <sup>3</sup>	Маса палива, кг	Викиди шкідливих речовин, т/рік					
							СО	СхНу	Сажа	Бензапирен	SO <sub>2</sub>	Альдегіди
серпень*	918	76984	11,9	230058	860	197850	1405	3245	2612	0,021	950	237
вересень	768	52574	14,6	206992	860	178013	1264	2919	2350	0,019	854	214
жовтень	869	59976	14,5	203585	860	175083	1243	2871	2311	0,018	840	210
листопад	912	64325	14,2	217925	840	183057	1300	3002	2416	0,019	879	220
грудень	851	59438	14,3	201977	840	169661	1205	2782	2240	0,018	814	204
січень	742	50624	14,7	189219	840	158944	1129	2607	2098	0,017	763	191
лютий	786	52379	15,0	205440	840	172570	1225	2830	2278	0,018	828	207
березень	770	57030	13,5	240752	840	202232	1436	3317	2669	0,021	971	243
квітень	663	47417	14,0	182368	860	156836	1114	2572	2070	0,016	753	188
травень	712	48121	14,8	200278	860	172239	1223	2825	2274	0,018	827	207
червень	794	55280	14,4	190422	860	163763	1163	2686	2162	0,017	786	197
липень	734	49952	14,7	162125	860	139428	990	2287	1840	0,015	669	167
серпень**	833	60101	13,9	189274	860	162776	1156	2670	2149	0,017	781	195
Всього						2232451	15850	36612	29468	0,23	10716	2679

\* - попередній рік \*\* - наступний рік

Проведені дослідження дозволили встановити ряд нових закономірностей, що пов'язані із забрудненням атмосфери при руху кар'єрних автосамоскидів БелАЗ-7548 залежно від метеофакторів навколишнього середовища і часу року. На малюнку 5 представлена динаміка зміни фактичних викидів в атмосферу шкідливих речовин автосамоскидами БелАЗ-5748 по місяцях року у вигляді графіків, а на малюнку 6 - у вигляді діаграм їх розподілу.

#### **Висновки.**

1. Результати виконаних досліджень дозволили в реальному масштабі часу виділити і оцінити небезпечні за фактором забруднення атмосфери технологічні процеси в кар'єрах при експлуатації великовантажних автосамоскидів.

2. Досліджено параметри забруднення атмосфери вихлопними газами кар'єрного автотранспорту в різні пори року, у тому числі при зміні швидкості руху та режиму роботи автосамоскидів.

3. Створена комп'ютерна база даних оперативного обліку і контролю за витратою палива автосамоскидами БелАЗ-5748 в умовах Вільногірського ГМК, що дозволило розрахувати значення маси шкідливих речовин які забруднюють атмосферу довкілля.

4. Наведено результати розрахунку річних викидів шкідливих речовин автосамоскидами в умовах Вільногірського ГМК. Як видно з наведених на графіках даних найбільше забруднення атмосфери при експлуатації кар'єрних автосамоскидів відбувається такими токсичними речовинами як вуглеводень, сажа і окис вуглецю.

5. Встановлено, що для досягнення мінімальних витрат палива і забруднення атмосфери токсичними речовинами необхідно впровадження оперативного обліку і контролю за витратою палива і вагою вантажу, що перевозиться кожним автосамоскидом, оптимізація швидкості руху та витрат палива автосамоскидами в залежності від рельєфу шляху, метеоумов, енергетичних характеристик двигуна і ваги вантажу.

6. Створення системи екологічного моніторингу забруднення атмосфери при роботі кар'єрних автосамоскидів потребує застосування радіонавігаційного обладнання та системи диспетчеризації кар'єрного автотранспорту.

#### Список літератури

1. Филатов С.С. Вентиляция карьеров.- М.: Недра, 1981, 206 с.
2. Мариев П.Л., Кулешов А.А., Егоров А.Н., Зырянов И.В. Карьерный транспорт стран СНГ в XXI веке.- СПб.: Наука, 2006.- 387 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Е.  
Надійшла до редакції 22.11.13*

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ ПРИ ГОРЕНИИ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА В ХРАНИЛИЩЕ

Разработана численная модель для прогноза загрязнения атмосферы при горении твердого ракетного топлива. Модель основана на применении уравнений Навье-Стокса и уравнении переноса примеси в атмосфере. Для численного интегрирования используются неявные разностные схемы. Представлены результаты проведенных вычислительных экспериментов.

Розроблена чисельна модель для прогнозу забруднення атмосфери при горінні твердого ракетного палива. Модель ґрунтується на застосуванні рівнянь Нав'є-Стокса і рівнянні перенесення домішки в атмосфері. Для чисельної інтеграції використовуються неявні різницьові схеми. Представлені результати проведених обчислювальних експериментів.

A numerical model was developed to predict the atmosphere pollution in the case of the solid rocket fuel firing. The model is based on Navier-Stokes equations and K-gradient model. The implicit difference schemes are used for the numerical integration. The results of the computational experiments are presented.

**Вступление.** Одним из потенциальных источников химического загрязнения атмосферы является Павлоградский химический завод, где хранится твердое ракетное топливо ракетной системы РС-22 (рис.1.). Твердое топливо находится внутри специально оборудованных хранилищ, возле которых располагается защитный вал (рис.2). Одной из важных задач в области экологической безопасности является прогноз уровня загрязнения атмосферы при чрезвычайной ситуации в данном хранилище, приводящей к возгоранию ракетного топлива [1,3,4]. В этом случае произойдет интенсивная эмиссия химически опасных веществ в атмосферу. Поэтому актуальной задачей является оценка уровня загрязнения атмосферы при такой чрезвычайной ситуации.



Рис.1. Вид ракетного двигателя первой ступени РС-22





Рис. 2. Общий вид зоны размещения хранилища твердого ракетного топлива: 1 – хранилище твердого ракетного топлива, 2 – защитный вал

**Анализ существующих решений.** Основным методом прогноза уровня загрязнения атмосферы при чрезвычайных ситуациях связанных с эмиссией химически опасных веществ является метод математического моделирования [2,5,7,6,14,15]. В настоящее время используется несколько классов математических моделей для решения задачи прогноза загрязнения атмосферы при чрезвычайных ситуациях на химических опасных объектах. В Украине – это эмпирические модели [9] или аналитические модели [7].

Как правило, аналитические модели – это расчетные зависимости, основанные на точном решении уравнения переноса примеси в атмосфере для точечного, постоянно действующего источника выброса или для модельной ситуации – «мгновенный выброс». Реже применяется аналитическое решение – расчетная зависимость для модельной ситуации «полунепрерывный выброс». Другой вид аналитических моделей - это различные модификации модели Гаусса, также разработанные для точечного, постоянно действующего источника или для модельной ситуации – «мгновенный выброс» [7,12,13]. Аналитические модели дают возможность быстро рассчитать зону загрязнения. Большим недостатком этих моделей является то, что они не учитывают влияние зданий и рельефа на процесс формирования зоны загрязнения. Для получения адекватных прогнозных данных необходимо применение численных моделей, учитывающих существенные факторы, влияющие на процесс рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере и формирование зоны загрязнения [4,6]. Однако для практики необходимо создание численных моделей, позволяющих максимально учитывать специфические особенности конкретных задач.

**Целью** данной работы является разработка CWE (Computational Wind Engineering) модели для прогноза загрязнения атмосферы при горении твердого ракетного топлива в хранилище, не требующей больших затрат компьютерного времени и применения мощных ПК при проведении прогнозных расчетов. Прогноз загрязнения на базе разработанной модели осуществляется в масштабе «microscale».

**Математическая модель.** При расчете процесса загрязнения атмосферы в случае аварийной ситуации в хранилище твердого ракетного топлива (рис.2) решение задачи разбивается на два шага. На первом шаге решается задача по определению поля скорости воздушного потока с учетом взаимодействия выходящего из хранилища газового потока с ветровым потоком. Для решения этой задачи применяются уравнения Навье-Стокса, записанные в переменных Гельмгольда [8]

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial u \omega}{\partial x} + \frac{\partial v \omega}{\partial y} = \nu \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right), \quad (1)$$

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = -\omega, \quad (2)$$

где  $\omega = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$  – завихренность;  $\psi$  – функция тока;  $\nu$  – коэффициент турбулентной вязкости. Ось Y направлена вертикально вверх.

Компоненты вектора скорости воздушного потока рассчитываются по зависимостям

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

Постановка краевых условий для данной системы уравнений приведена в [8].

После определения поля скорости воздушного потока решается задача о переносе загрязняющих веществ (продуктов горения твердого ракетного топлива) в атмосфере. Для моделирования этого процесса используется уравнение переноса примеси в атмосфере [2,8,10]

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial u C}{\partial x} + \frac{\partial v C}{\partial y} + \sigma C = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (3)$$

где  $C$  – концентрация загрязняющего вещества;  $u, v$  – компоненты вектора скорости воздушного потока;  $\mu = (\mu_x, \mu_y)$  – коэффициенты атмосферной турбулентной диффузии;  $Q$  – интенсивность выброса загрязнителя;  $\delta(x - x_i) \delta(y - y_i)$  – дельта-функция Дирака;  $x_i, y_i$  – координаты источника выброса;  $\sigma$  – коэффициент, учитывающий химический распад загрязнителя;  $t$  – время.

Постановка краевых условий для данного уравнения рассмотрена в работе [3]. Численное интегрирование уравнений модели выполняется на прямоугольной разностной сетке. При формировании расчетной области используется метод маркирования [6,8]. С помощью маркеров задается, положение здания – хранилища твердого ракетного топлива, форма и местоположение защитного вала возле хранилища.

**Метод решения.** Для численного интегрирования уравнений Навье – Стокса используются неявные разностные схемы [8]. Для численного интегрирования уравнения переноса примеси используется попеременно - треугольная неявная разностная схема расщепления [6,8].

**Практическая реализация модели.** На базе рассмотренной CWE модели был создан пакет прикладных программ WALL-2. Для программирования ис-

пользовался FORTRAN. Разработанная модель была использована для решения следующей задачи. Рассматривается здание – хранилище твердого ракетного топлива РС-22. Возле здания размещается защитный вал (рис.3). Ставится задача по оценке уровня загрязнения приземного слоя атмосферы при чрезвычайной ситуации в хранилище, когда произойдет возгорание топлива внутри хранилища и струя газа – продуктов горения будет выходить из хранилища наружу, приводя к загрязнению воздушной среды.



Рис. 3. Схема расчетной области: 1- хранилище твердого ракетного топлива, 2 – защитный вал; 3 –направление ветра

Размеры расчетной области 41.6м\*42м (масштаб «microscale»). Скорость ветра на входе в расчетную область рассчитывалась по зависимости [7]

$$u = u_1 (Y/Y_1)^n,$$

где  $u_1$  – значение скорости ветра на фиксированной высоте  $Y_1$  ( в расчетах принимается, что это высота 10м, скорость ветра на этой высоте 5м/с);  $n=0.15$  - параметр [7].

Вертикальный коэффициент турбулентной диффузии в приземном слое атмосферы рассчитывался по зависимости [7]

$$\mu_y = k_1 \left( \frac{y}{y_1} \right)^m,$$

где  $k_1=0,2$ ;  $m \approx 1$ ,  $y_1$  – высота, где задана скорость ветра  $u_1$ . Коэффициент  $\mu_x$  рассчитан по зависимости  $\mu_x \approx k \cdot u$ , где  $k \approx 0.5$  [7].

Внутри хранилища располагается горящий корпус ракетного двигателя РС-22 из которого выходит струя газа, содержащая продукты горения. Этот процесс моделируется следующим образом. Внутри здания задается разностная ячейка, из которой выходит поток со скоростью  $V_{gas}$ , содержащий загрязнитель (хлористый водород) с концентрацией 100 ед. ( в безразмерном виде). Скорость струи выходящего из хранилища газового потока – продуктов сгорания принята равной  $V_{gas}=20$ м/с. Расчет переноса загрязнителя осуществляется как внутри здания, так и снаружи. Скорость переноса загрязнителя внутри здания определяется скоростью газового потока  $V_{gas}$  и диффузией, а

снаружи здания – скоростью переноса, которая формируется в процессе взаимодействия выходящего из здания газового потока и ветрового потока + атмосферная диффузия. Коэффициенты диффузии по обоим направлениям внутри здания рассчитываются по зависимости  $\mu \approx k \cdot u$ , где  $u=V_{\text{gas}}$  – скорость газового потока,  $k=0.1$ .

**Результаты параметрических исследований.** Рассмотрим результаты вычислительного эксперимента. На приведенных ниже рисунках показана динамика загрязнения приземного слоя атмосферы вблизи хранилища для различных моментов времени. Эти данные позволяют определить форму зоны загрязнения, ее размеры и интенсивность.

Видно, что с течением времени формируется сложная зона загрязнения, вызванная влиянием защитного вала на процесс распространения загрязнителя. Высота зоны загрязнения приземного слоя атмосферы для момента времени 5с после начала аварийного выброса составит порядка 22м, а для момента времени 50с – более 40м, т.е. происходит ее стремительный рост. Наиболее интенсивное загрязнение воздушной среды наблюдается внутри хранилища и на расстоянии порядка 15м от него, т.е. возле вала. На этом расстоянии концентрация снижается только до величины порядка 94% от максимальной концентрации внутри хранилища. За защитным валом концентрация загрязнителя составляет величину порядка 66%, т.е. – интенсивность загрязнения уменьшилась примерно на 34% по сравнению с концентрацией внутри хранилища.

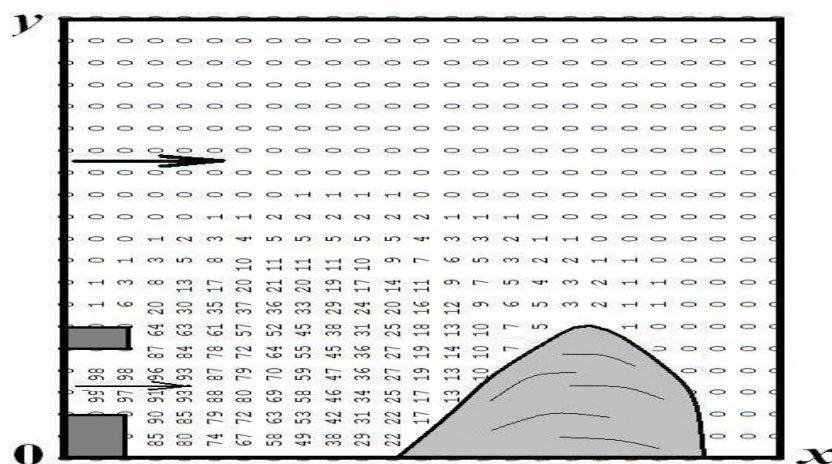


Рис. 4. Зона загрязнения приземного слоя атмосферы для момента времени  $t=5\text{c}$  (скорость ветра на высоте  $Y_1$  равна 5м/с)

На рис.7 показана зона загрязнения атмосферы при меньшей скорости ветра – 3м/с. Если сравнить данный рисунок с предыдущим, то видно, что уменьшение скорости ветра привело к возрастанию концентрации загрязнителя в атмосфере (для данного случая за валом концентрация загрязнителя составляет величину порядка 72 %–73 %).

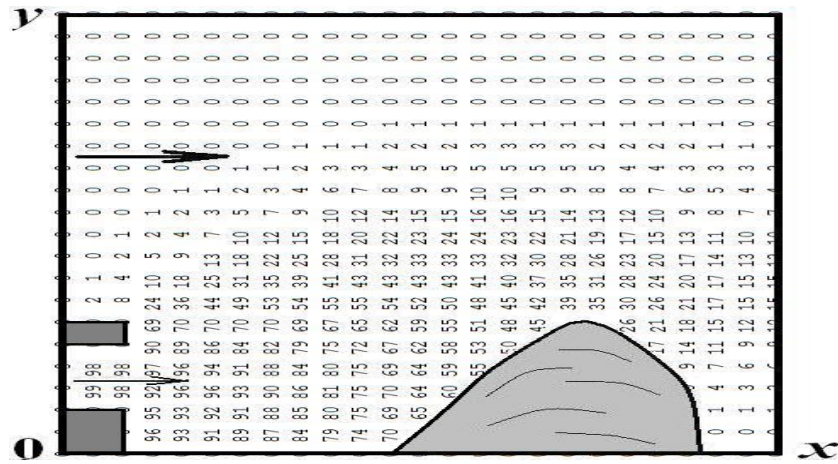


Рис. 5. Зона загрязнения приземного слоя атмосферы для момента времени  $t=10\text{с}$  (скорость ветра на высоте  $Y_1$  равна  $5\text{м/с}$ )

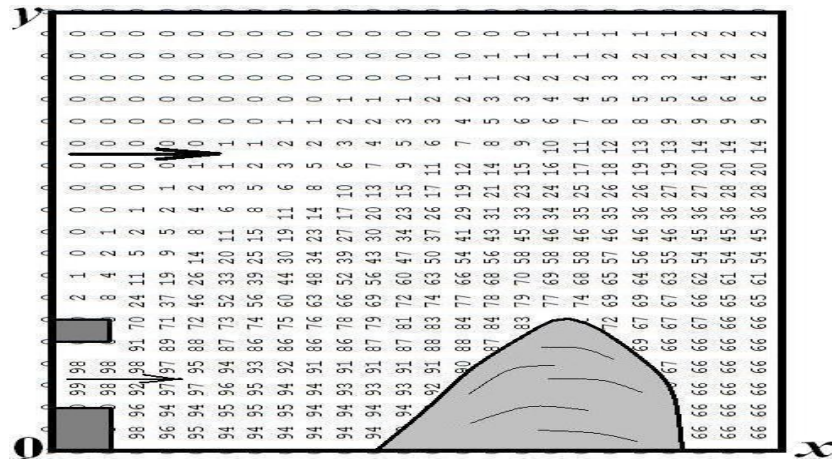


Рис. 6. Зона загрязнения приземного слоя атмосферы для момента времени  $t=50\text{с}$  (скорость ветра на высоте  $Y_1$  равна  $5\text{м/с}$ )

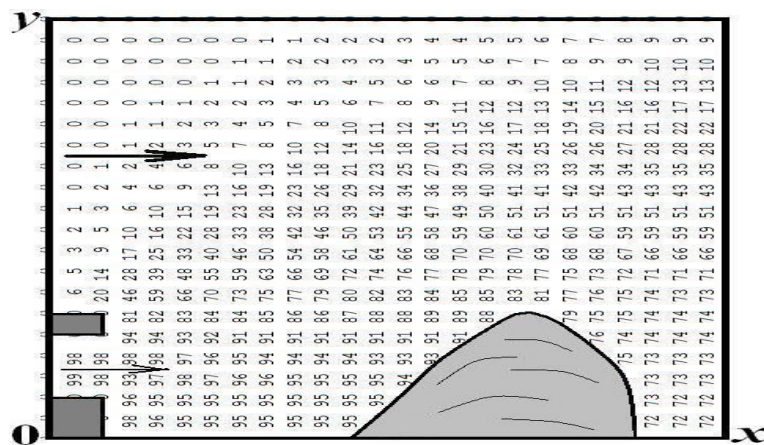


Рис. 7. Зона загрязнения приземного слоя атмосферы для момента времени  $t=50\text{с}$  (скорость ветра на высоте  $Y_1$  равна  $3\text{м/с}$ )

Ниже представлены результаты вычислительного эксперимента для иного сценария аварийной ситуации – когда имеет место частичное разрушение защитного вала (рис.8) или практически его полное разрушение (рис.9).

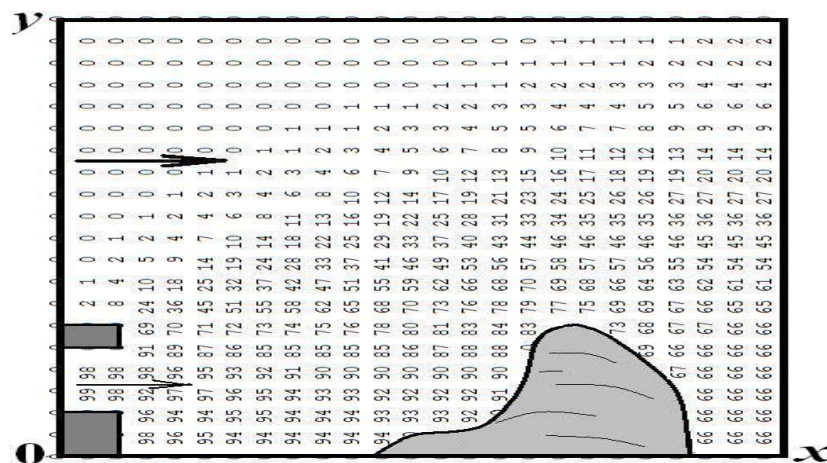


Рис. 8. Зона загрязнения приземного слоя атмосферы для момента времени  $t=50c$  (частично разрушенный защитный вал, скорость ветра на высоте  $Y_1$  равна  $5m/c$ )

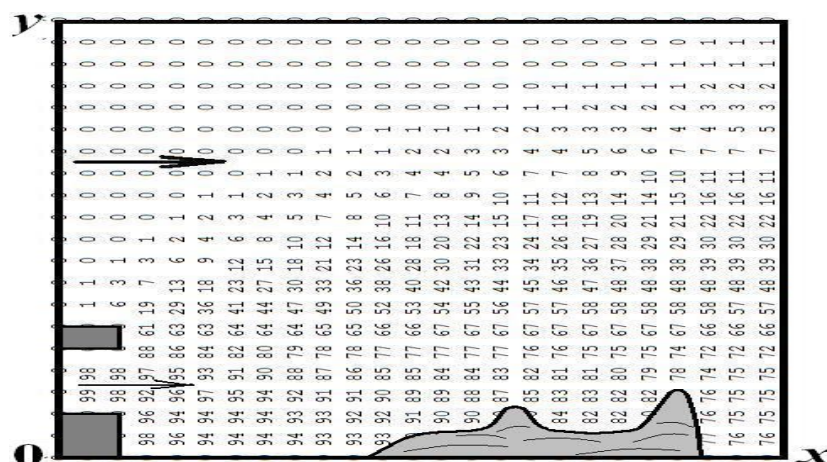


Рис.9. Зона загрязнения приземного слоя атмосферы для момента времени  $t=50c$  (разрушенный защитный вал, скорость ветра на высоте  $Y_1$  равна  $5m/c$ )

Видно, что при частичном разрушении вала, его защитная функция – сохраняется, т.к. не уменьшилась высота вала. В этом случае концентрация загрязнителя за ним также составляет величину порядка 66% от концентрации внутри хранилища. Но при полном разрушении вала, т.е. при существенном уменьшении его высоты – концентрация загрязнителя за остатками вала уже составляет примерно 76 %, т.е. – очевидно выше.

В заключение отметим, что на расчет задачи потребовалось 5мин компьютерного времени.

**Выводы.** Разработана методика расчета прогрева корпуса I ступени ракеты РС-22 при инициированном тепловом воздействии. Методика расчета основывается на аналитическом решении задачи теплопроводности для многослойного тела.

На основе разработанной модели проведен ряд вычислительных экспериментов. Дальнейшую разработку модели следует проводить в направлении учета в ней условий неидеального теплового контакта на стыках слоев конструкций.

#### Список литературы

1. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий: Учеб. пособие: В 6 кн. / Под ред. В. А. Котляревского и А. В. Забегаева. - М.: Изд-во АСВ, 2001-2005.
2. Антошкина Л.И. Моделирование аварийных ситуаций на промышленных объектах и безопасность жизнедеятельности / Л.И. Антошкина, Н.Н. Беляев, Л.Ф. Долина, Е.Д. Коренюк – Д: Нова ідеологія, 2011. – 123 с.
3. Беляев Н.Н. Моделирование процесса загрязнения атмосферы при горении твердого ракетного топлива / Н.Н. Беляев, А.В. Берлов // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Серія «Механіка». –2013.Вип. 17, т.1. С.179 – 184.
4. Беляев Н.Н. Математическое моделирование прогрева корпуса первой ступени ракеты РС-22 при иницированном воздействии / Н.Н. Беляев, А.В. Берлов, А.И. Губин // Збірник наукових праць НГУ. Д.: Національний гірничий університет, 2012. – № 38. – С.192 – 201.
5. Беляев Н.Н. Численное моделирования загрязнения воздушной среды на промплощадках / Н.Н. Беляев, П.Б. Машихина, Е.Ю. Гунько. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. Випуск 16. Дніпропетровськ, 2007. – С 18 – 20.
6. Беляев Н.Н., Гунько Е.Ю., Машихина П.Б. Математическое моделирование в задачах экологической безопасности и мониторинга чрезвычайных ситуаций: Монография. / Н.Н. Беляев, Е.Ю. Гунько, П.Б. Машихина. Д.: «Акцент ПП», 2013. – 159 с.
7. Бруцкий Е.В. Теория атмосферной диффузии радиоактивных выбросов. Киев: Институт гидромеханики НАН Украины, 2000. – 443 с.
8. Згуровский М. З. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – К.: Наукова думка, 1997. – 368 с.
9. Методика прогнозування наслідків вилливу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті / К., 2001. – 33 с.
10. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 316 с.
11. Самарский А. А. Теория разностных схем. – М.: Наука, 1983. – 616 с.
12. Шаталов А.А., Лисанов М.В. Методика расчета распространения аварийных выбросов, основанная на модели рассеивания тяжелого газа // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 9. – С. 46 – 52с.
13. Hanna S. Air Quality Modeling Over Short Distances.// College on Atmospheric Boundary Layer and Air Pollution Modeling: 16 May-3 June 1994. №SMR/760-2 – P. 712 – 743.
14. Belyaev M. Air Pollution Modelling of Technogenic Catastrophes caused by Terrorist Attacks on Rail Transport of Chemical Substances.// Simulation and Assessment of Chemical Processes in a Multiphase Environment . NATO Science for Peace and / Security Series. – С.: Environmental Security, Springer, 2007. P.327 – 336.
15. Biliaiev M.M. Numerical simulation of indoor air pollution and atmosphere pollution for regions having complex topography /Biliaiev M.M., Kharytonov M.M. / Conference Abstracts of 31st NATO / SPS International Technical Meeting on Air Pollution Modelling and it's Application, 27 September – 01 October, Torino, Italy, 2010. № P1.7.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Е.  
Надійшла до редакції 11.11.13*

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВЫХ ПЛОТИН, КАК ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ

Приведены результаты статистического анализа основных причин аварий грунтовых плотин и методы контроля их технического состояния. Показана эффективность использования геофизического метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли для оперативной оценки технического состояния грунтовых гидротехнических сооружений.

Наведені результати статистичного аналізу основних причин аварій ґрунтових гребель і методи контролю їх технічного стану. Показана ефективність використання геофізичного методу природного імпульсного електромагнітного поля Землі для оперативної оцінки технічного стану ґрунтових гідротехнічних споруд.

There are results of the statistical analysis of the main causes of accidents of groundwater dams and methods of control of their technical condition. The efficiency of geophysical method of natural impulse electromagnetic field of the Earth for an operational assessment of technical condition of groundwater dams.

**Вступление.** Сегодня значительное внимание уделяется экологическому мониторингу территорий, расположенных в зоне действия гидротехнических сооружений различного типа. Урбанизация, развитие промышленности и сельского хозяйства неизбежно связано с потреблением большого количества воды. Построенные гидротехнические сооружения (ГТС) перераспределяют природный сток рек, сосредотачивают необходимый напор для гидроэнергетики, защищают территории от негативного действия водных стихий и т.д. Зарегулирование практически всех рек превратило их в каскад водохранилищ объемами от тысяч м<sup>3</sup> до десятков кубических километров. Заключение воды десятилетиями накапливает твердый сток, служит задерживающим экраном для химически и радиоактивных веществ. Большую экологическую опасность представляют отстойники опасных отходов и высокоминерализованные воды хвосто- и шламохранилищ. В случае прорыва плотины на таких объектах, массы воды, сметая все на своем пути, оставляют негативные экономические, социальные и экологические последствия. Наблюдения и многолетний опыт эксплуатации ГТС свидетельствует, к сожалению, о значительном количестве таких аварий.

**Постановка проблемы.** Известно, что тяжелые гравитационные плотины из бетона удерживают большие объемы воды и имеют значительно высший класс капитальности сооружения (I-II-й), нежели грунтовые (III-IV-й классы). Это связано с материалом, из которого воздвигнута плотина, запасом прочности и последствиями её аварийного разрушения, в связи с чем, они имеют собственную систему мониторинга технического состояния и эксплуатационный персонал. Возросшая в середине прошлого века необходимость орошения и водоснабжения стремительно развивали гидротехническое строительство. Доступность местных строительных материалов, простота возведения и необязательность эксплуатационного штата, повлекли за собой зарегулирование стока



практически всех малых и средних рек грунтовыми плотинами. Несмотря на незначительные площади и объемы созданных водохранилищ, их многочисленность и каскадное расположение в рельефе при разрушении одной из дамб, может привести к последовательному сносу находящихся ниже по течению сооружений. Населенные пункты пострадают от действия разрушающей волны, будут затоплены водой и иловыми наносами. Если на пути потока окажутся старые скотомогильники или места захоронения опасных отходов, то экологические последствия могут явиться очень опасными. Пункты водозабора, находящиеся в зоне гидравлического подпора водохранилища, отчасти лишатся необходимого дебита воды, что негативно отразится на системе централизованного водоснабжения и повлечет за собой рост заболеваний. Кроме того, многие грунтовые дамбы несут коммуникативную функцию: по ним проходят автомобильные дороги, узлы связи и пр. Но движение транспорта приводит к увеличению динамических нагрузок и активизации процессов проседания, образованию трещин и пустот, увеличивая фильтрационные расходы и зоны обводнения в плотине, а также на участках сочленения с берегами.

Увеличение числа быстровозводимых грунтовых ГТС повлекло за собой рост аварий (рис 1), о чем свидетельствуют статистические данные, приведенные в работах [1, 2, 4].

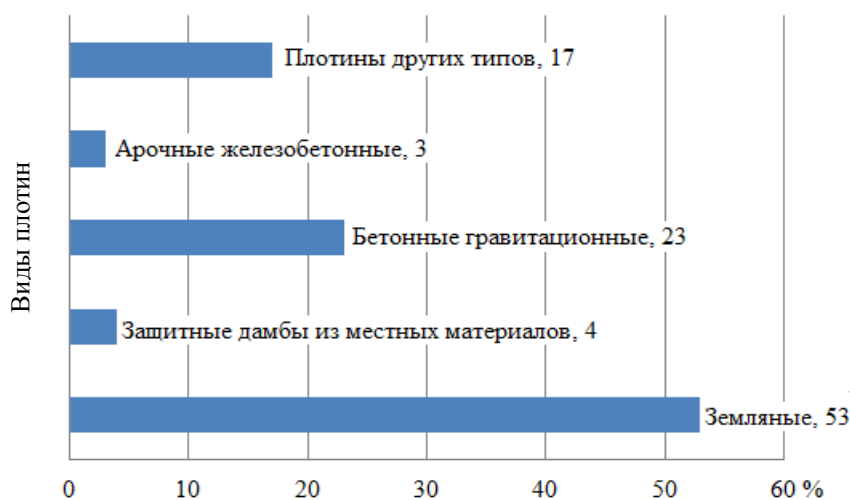


Рис. 1. Процентное соотношение аварий на плотинах различных типов (по данным [1, 2])

Из графиков на рис. 1 видно, что наибольшее количество аварий происходит на плотинах из грунтовых материалов – порядка 53 % от их общего количества.

**Цель и задание исследования.** На основании статистических данных проанализировать основные причины разрушения грунтовых плотин и эффективность методов контроля над их техническим состоянием; оценить возможность применения геофизического метода естественного импульсного электромагнитного поля Земли, для решения задач по предотвращению аварийных ситуаций, оперативной и объективной оценки технического состояния грунтовых плотин.

**Изложение основного материала.** Более половины всех аварий связаны с разрушением основания и недостаточностью водосброса (рис. 2). Так первая причина вызвана контактной или сосредоточенной фильтрацией воды в теле, основании или примыканиях плотины к берегам. Недостаточность водосброса приводит к переливу воды через гребень и размыву тела ГТС [3,5].



Рис. 2. Основные причины разрушения грунтовых плотин (по данным [1, 2])

Максимальное количество аварий приходится на первый год эксплуатации сооружения, с течением времени их частота уменьшается, приближаясь к нулю, а после 50-и лет эксплуатации снова резко возрастает (рис. 3). Связанно это со старением материалов, отсутствием надлежащего контроля и ремонта.

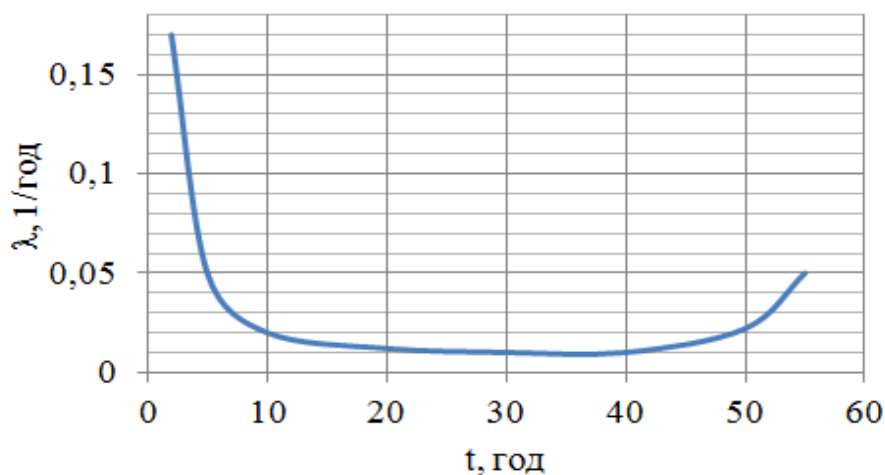


Рис. 3. Статистика аварий грунтовых гидротехнических сооружений (по данным [3])

Заметим, что подавляющее большинство грунтовых плотин в нашей стране было построено в период с 50-х по 80-е года прошлого столетия. Данный факт усиливает актуальность проблемы безопасной эксплуатации сооружений и предупреждения аварийных ситуаций.

Оценка состояния грунтовой плотины как технической системы, которая состоит из множества элементов, узлов и конструкций, находящихся под действием многочисленных нагрузок, является сложной и ответственной задачей эксплуатации гидротехнического сооружения. В плотине происходит, по меньшей мере, три вида физических процессов – деформирование, фильтрация и теплоперенос [3]. Каждый её элемент, подлежащий диагностике, характеризуется определенной совокупностью параметров и качественных показателей технического состояния. К параметрам технического состояния относят деформации, фильтрационные расходы, напряжения и др., а к качественным показателям – трещины, просадки, пустоты, выход и пути фильтрационных вод [5]. Количественные показатели имеют числовые значения, определяемые инструментально с помощью контрольно измерительной аппаратуры (КИА). К ним относят значения напряжений, порового давления и деформаций (растяжения или сдвига в грунтах); высотное расположение депрессионной кривой, величины градиентов напора, скорость фильтрации, ее удельные расходы, проявления суффозии; распределения и сезонные изменения температуры в теле сооружения. Контроль над вертикальными осадками элементов плотин и горизонтальным смещением, как правило, контролируют с помощью геодезических методов. Для этого используют высокоточное нивелирование поверхностных, глубинных и внутренних марок, а также визирование по створам. Наблюдения за напряжением и деформацией грунтов в теле плотин, проводят с помощью различных датчиков. Уровни кривой депрессии изучают по показаниям пьезометров. Использование таких методов контрольных измерений предусматривает их установку и постоянный мониторинг на объекте благодаря эксплуатационному штату, что на грунтовых плотинах встречается крайне редко. В основном они обследуются лишь визуально на предмет явных нарушений и деформаций. Это приводит к тому, что предупредить развитие аварийной ситуации тяжело, а решать проблему приходится только после чрезвычайного происшествия, что влечет значительные экономические и экологические убытки. В связи со сложившейся ситуацией, возрастает необходимость объективной, целостной оценки технического состояния грунтовых ГТС на малых и средних реках, включая дамбы на накопителях опасных отходов и высокоминерализованных шахтных вод.

В Украине на сегодняшний день нет нормативно-правовой базы регулирования данного вопроса. Значительное количество отданных в частное пользование небольших водоемов обострило неясность в вопросе собственника гидротехнического сооружения: водоемы принадлежат арендатору, а сооружения на них – государству. В мировой практике уже есть примеры урегулирования вопросов ответственность за ремонт или разрушение сооружения в случае аварии. Так, например, в Российской Федерации существует закон «О безопасности гидротехнических сооружений» принятый в 1997 году, призванный разра-

ботать декларации по безопасности сооружений и дальнейшей их эксплуатации, а также рекомендовать методы изучения и диагностики ГТС.

Помимо нормативно-правовых аспектов, оценка технического состояния грунтовых плотин сильно зависит от применяемых методов исследования и КИА. Большинство из них известны и упомянуты выше, но они дорогие и требуют значительного количества времени на проведение работ. Очевидно, что необходимо усиление роли экспресс-методов, одними из которых могут служить геофизические.

Так, коллективом исследователей Днепродзержинского государственного технического и Днепропетровского государственного аграрного университетов для диагностики грунтовых плотин успешно применяется метод естественного импульсного электромагнитного поля Земли (ЕИЭМПЗ). Ранее отмечалось, что наиболее опасными процессами для разрушения плотины являются фильтрационные потоки и зоны выхода воды на дневную поверхность, вызванные контактной или сосредоточенной фильтрацией в теле сооружения, основании и зонах примыкания к берегам. Обнаружить такие участки на стадии их возникновения и дальнейшего развития крайне тяжело, а при визуальном осмотре – практически невозможно. В этом случае предупредить развитие аварийной ситуации и принять необходимые меры по ее устранению затруднительно.

Метод ЕИЭМПЗ основан на явлении генерирования электромагнитных импульсов горными породами и искусственными сооружениями, в т.ч. насыпными. Сущность его заключается в регистрации электромагнитных импульсов, испускаемых телом, которое испытывает деформации сжатия или растяжения. Импульсы магнитной составляющей электромагнитного поля Земли интенсивно поглощаются существенно обводненными горными породами или сооружениями. В глинистых породах, из которых состоит тело ГТС, под действием нагрузок происходят раскалывания и деформации частиц минерального скелета, поэтому плотность испускаемых импульсов (количество сигналов за единицу времени) резко уменьшается в зонах развития трещиноватости или пустотах в породных массивах и сооружениях. На картах такие участки могут интерпретироваться как зоны фильтрации или трещиноватости. Форма изолиний и общий рисунок поля ЕИЭМПЗ позволяет отделить эти зоны друг от друга и определить их размеры и простирания на исследуемом объекте. Также выделяются места с различным напряженным состоянием плотины: приозерная часть (верхний бьеф) подвергается значительно большей нагрузке со стороны водохранилища, а тыловая (нижний бьеф) – меньшей, поэтому при нормальном техническом состоянии дамбы наблюдается полосчатое расположения аномалий ЕИЭМПЗ – максимальные в верхнем бьефе, минимальные – в нижнем. Это свидетельствует о выполнении плотиной своих функций – удержание воды. Обратная ситуация – напряженное состояние нижнего бьефа (максимальные аномалии ЕИЭМПЗ) и ослабленное состояние верхнего бьефа (минимальные аномалии), расценивается как возможное просачивание воды из водохранилища через тело дамбы. На основании отмеченных закономерностей осуществляется оперативная интерпретация данных непосредственно на объекте изучения и выне-

сение опасных участков фильтрации в натуру. Одновременно можно выявлять участки грунтовых плотин, находящихся в разнонапряженном состоянии, что может привести к формированию оползней или образования пльвунов.

Для оценки возможностей ЕИЭМПЗ были проведены исследования на 11-ти ГТС Днепропетровской области. При наблюдениях на гребне плотины и зонах сочленения на берегах разбивается сеть профилей с шагом 2–3 м и точками на них с расстоянием в 2–3 м. В качестве прибора для регистрации сигнала ЕИЭМПЗ используется микропроцессорный индикатор МИЭМП-14/4 серии «СИМЕИЗ». После этого полученные сигналы переносят в персональный компьютер и строят карты-схемы плотности потока магнитной составляющей ЕИЭМПЗ. Вся операция, в зависимости от размеров сооружения, занимает 3–5 часов, после чего опасные участки обводнения и фильтрации локализируются на местности.

**Выводы.** Анализ приведенных данных показывает актуальность проблемы безопасности технического состояния гидротехнических сооружений. Количество участвовавших аварий и старение большинства сооружений, свидетельствуют о необходимости наблюдения за их напряженно-деформированным состоянием с разработкой программы мониторинга на государственном уровне. Целесообразно разрабатывать и задействовать при этом оперативные и недорогие методы контроля, к которым относится метод ЕИЭМПЗ, что позволит выявлять опасные участки обводнения и фильтрации воды на стадии их возникновения, предотвращать аварийные ситуации и повысит экологическую безопасность прилегающих территорий.

#### Список литературы

1. Dam failures – statistical analysis. Bulletin No. 99. ICOLD. Paris. 1995. Режим доступа: [http://www.icold-cigb.net/GB/Dams/dams\\_safety.asp](http://www.icold-cigb.net/GB/Dams/dams_safety.asp).
2. Юзбеков Н.С. Проблема оценки состояния грунтовых плотин / Н.С. Юзбеков // Технологии гражданской безопасности. – М.: 2004. – №2. Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/problemy-otsenki-sostoyaniya-gruntovyh-plotin>.
3. Панов С.И. Лекции по курсу «Исследования, эксплуатация и ремонт ГТС». ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/199276>.
4. Стефанишин Д.В. Статистичні оцінки аварійності гребель / Д.В. Стефанишин // Вісник НУВГП. Збірник наукових праць. Випуск 3 (35). – Рівне: НУВГП, 2006. – С.111-117.
5. Малаханов В.В. Техническая диагностика грунтовых плотин / В.В. Малаханов – М.: Энергопромиздат, 1990. – 120 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 25.11.13*

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Ананченко Марія Юрьевна** – аспірантка кафедри геофізических методів розвідки ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Беляев Николай Николаевич** – д.т.н., професор, заведуючий кафедрой «Гидравлика и водоснабжение» Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта им. акад. В. Лазаряна

**Берлов Александр Викторович** – инженер кафедры «Аерогидромеханика и энергомассоперенос» Днепропетровского национального университета им. О. Гончара

**Білашенко Ольга Геннадіївна** – аспірант кафедри геофізичних методів розробки ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Бондаренко Андрей Алексеевич** – к.т.н., доцент кафедры горных машин и инжиниринга ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Гайдай Александр Анатольевич** – к.т.н., доцент кафедры подземной разработки месторождений ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Гапіч Геннадій Васильович** – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Горобчишин Олег Вікторович** – аспірант НТУУ «КПІ», м. Київ

**Дичковський Роман Омелчнович** – к.т.н., доцент ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Довбнич Михаил Михайлович** – д.г.-м.н., проф., зав. кафедрой геофізических методів розвідки ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Додатко Олександр Дмитрович** – д.г.-м.н., професор кафедри загальної геології ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Дроздов Олексій Вікторович** – студент ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Завгородній Валерій Вікторович** – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Зберовський Виктор Олександрович** – аспірант кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Змиевская К.О.** – аспірант кафедри общей геологии ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Зуєвська Наталія Валеріївна** – д.т.н., доцент НТУУ «КПІ», м. Київ

**Ішков Валерій Валерійович** – к.г.-м.н., зав. кафедри мінералогії і петрографії ДВНЗ "Національний гірничий університет", м. Дніпропетровськ

**Каталенец Анатолій Іванович** – д.г.-м.н., професор кафедри економіки і стратегії підприємств Криворожського економічного інститута

**Кирия Руслан Виссарионович** – к.т.н., с.н.с. інститута геотехнічної механіки ім. Н.С. Полякова НАН України

**Ковшов Геннадій Николаевич** – д.т.н., професор кафедри прикладної механіки Государственного высшего учебного заведения «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

**Козій Євгеній Сергійович** – аспірант кафедри мінералогії і петрографії ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Коробочка Олександр Миколайович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри автомобілів та автомобільного господарства, ректор ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Лозинський Василь Григорович** – аспірант ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Лозовий Андрій Леонідович** – к.г.-м.н., доцент кафедри геофізичних методів розвідки ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Марченко В'ячеслав Володимирович** – асистент кафедри аерології та охорони праці ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Медяник Владимир Юрьевич** – к.т.н., доцент кафедри підземної розробки месторождений ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Мещеряков Леонід Іванович** – д.т.н., професор кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Приходченко Дмитро Васильович** – асистент кафедри загальної геології ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Приходченко Сергій Дмитрович** – асистент кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Рыжков Игорь Викторович** – к.т.н., проректор, доцент кафедри прикладної механіки Государственного высшего учебного заведения «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

**Савчук В'ячеслав Степанович** – д.геол.н., доцент кафедри ГРМПИ ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Садовой Олександр Валентинович** – д.т.н., професор, завідувач кафедри електромеханіки, проректор з наукової роботи ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Сайк Павло Богданович** – аспірант кафедри підземної розробки родовищ ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Сливная Олена Василівна** – асистент кафедри мінералогії та петрографії ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Собко Борис Ефимович** – д.т.н. професор кафедри ОГР ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Соцков Вадим Александрович** – аспирант кафедри підземної розробки месторождений ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Табунщик Любов Сергіївна** – магістр кафедри геобудівництва та гірничих технологій НТУУ «КПІ» м. Київ

**Ужеловский Андрей Валентинович** – асистент, аспирант Государственного высшего учебного заведения «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

**Фальшинський Володимир Сергійович** – к.т.н, доцент ДВНЗ «Національний гірничий університет», м. Дніпропетровськ

**Фомичев Вадим Владимирович** – к.т.н., доцент кафедри підземної розробки месторождений ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Хоменко Олег Евгенович** – доцент, докторант, ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Ценджав Лхагва** – соискатель, Монгольский государственный университет науки и технологии, г. Улан-Батор, Монголия

**Чебля Евгений Геннадьевич** – студент кафедри підземної розробки месторождений ГВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск

**Черныш Ольга Геннадиевна** – к.геол.н., доцент ГВУЗ Донецкий национальный технический университет МОН Украины

**Ялова Катерина Миколаївна** – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем ДДТУ, м. Дніпродзержинськ

**Яшина Ксенія Володимирівна** – к.т.н., доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем, начальник НДЧ ДДТУ, м. Дніпродзержинськ



## З М І С Т

1	<b>Г.Н. Ковшов, И.В. Рыжков, А.В. Ужеловский</b> К вопросу определения влияния постоянной магнитной помехи на показания магнито-чувствительных датчиков в процессе разведочного бурения скважин на нефть и газ.....	5
2	<b>А.Д. Додатко, К.О. Змиевская</b> Особенности линейных кор выветривания и тектонических нарушений высоких порядков на примере месторождения «Сергеевское» Солонянского рудного поля.....	11
3	<b>V.V. Ishkov, E.S. Koziy, A.L. Lozovoi</b> Definite oeculiarities of toxic and potentially toxic elements distribution in coal seams of pavlograd-petropravlovka region.....	18
4	<b>Д.В. Приходченко, С.В. Савчук</b> Закономерности распределения серы угольном пласте $g_1^2$ участка Успеновский 1-2 Лозовского угленосного района.....	24
5	<b>О.Г. Черныш</b> О проблеме перспективности полиметаллического оруденения с серебром в Донецком регионе.....	31
6	<b>О.Г. Білашенко</b> Застосування методу міжсведловинного прозвучування для дослідження геоекологічного впливу великих техногенних об'єктів на верхню частину геологічного середовища.....	40
7	<b>Е.В.Сливная</b> Генетическая связь гранитов и пегматитов восточной части украинского щита.....	48
8	<b>М.У. Ananchenko, М.М. Dovbnich, I.V. Mendrii</b> innovation approaches in seismic microzonation tailing dump designing.....	54
9	<b>А.И. Каталенец</b> К стратиграфии приазовской части украинского щита. Гуляйпольская подзона.....	60
10	<b>О.Е. Хоменко, Л. Ценджав</b> Технология разработки урановых месторождений Монголии методом скважинного подземного выщелачивания.....	74
11	<b>А.А. Гайдай</b> К вопросу разработки тонких и весьма тонких пластов в условиях шахт Западного Донбасса.....	81
12	<b>Р.В. Кирия</b> Определение пропускной способности систем подземного конвейерного транспорта угольных шахт.....	85
13	<b>В.В. Фомичев, В.Ю. Медяник, В.А. Соцков, Е.Г. Чебля</b> Закономерности влияния геотехнологических характеристик крепи и пород горного массива на устойчивость выемочной выработки в зоне разгрузки.....	95

14	<b>А.А. Бондаренко</b> Разработка лабораторной установки для обоснования параметров горизонтального классификатора.....	<b>101</b>
15	<b>Б.Ю. Собко, В.В. Дроздов, О.В. Дроздов</b> Гірнично-геометричний аналіз кар'єрного поля Єристівського родовища залізистих кварцитів.....	<b>106</b>
16	<b>В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, В.Г. Лозинський, П.Б. Саїк</b> Визначення параметрів порожнин розшарування над підземним газогенератором.....	<b>114</b>
17	<b>П.Б. Саїк</b> Моделювання поведінки гірського масиву при одночасному висхідному порядку вигазовування зближених тонких вугільних пластів.....	<b>125</b>
18	<b>Н.В. Зуєвська, О.В. Горобчишин, Л.С. Табунщик</b> Застосування мікроскопічного методу для оцінки довговічності облицювальних виробів з природнього каменю в залежності від технології видобутку сировини.....	<b>133</b>
19	<b>О.В. Садовой, В.В. Завгородній, К.М. Ялова, К.В. Яшина</b> Створення єдиної автоматизованої інформаційної системи управління вищим навчальним закладом на прикладі Дніпродзержинського державного технічного університету.....	<b>138</b>
20	<b>Л.И. Мещеряков, С.Д. Приходченко</b> Моделирование системы автоматизации внутрифабричного гидротранспорта с применением метода контроля по предсказывающей модели.....	<b>144</b>
21	<b>В.А. Зберовський, В.В. Марченко, О.М. Коробочка</b> Дослідження забруднення атмосфери при експлуатації кар'єрних автосамоскидів .....	<b>152</b>
22	<b>Н.Н. Беляев, А.В. Берлов</b> Прогнозирование загрязнения приземного слоя атмосферы при горении твердого ракетного топлива в хранилище .....	<b>160</b>
23	<b>Г.В. Гапич</b> Оценка технического состояния грунтовых плотин, как элемента системы экологического мониторинга территорий ...	<b>168</b>

**Збірник наукових праць  
Національного гірничого університету  
№ 42**

Підписано до друку 01.12.2013. Формат 60×84/16.  
Ум. друк. арк. 8,9. Обл.-вид. арк. 8,9.  
Тираж 300 прим. Зам. № 411

Видавництво «Літограф»  
Ідентифікатор видавця у системі ISBN: 2267  
Адреса видавництва та друкарні:  
49000, Дніпропетровськ, вул. ім. М.В. Гоголя, 10/а, офіс 38  
Тел.: (066) 369-21-55, (056) 713-57-25  
E-mail: Litograf.dp@gmail.com