

Міністерство освіти і науки України
Національний гірничий університет

Збірник наукових праць
Національного гірничого університету

№33
Том 1

Дніпропетровськ
2009

УДК 622 (06)

Засновник та видавець
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ
рік заснування – 1999

**Збірник наукових праць НГУ № 33, Том 1 – Дніпропетровськ: РВК
НГУ, 2009.– 160 с.**

У збірнику приведено 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, освітлені питання експлуатації гірничо-транспортного устаткування на шахтах, рудниках і кар'єрах.

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

Збірник друкується за рішенням Вченої Ради НГУ
(протокол № 5 від 30.06.2009 р.)

Комп'ютерна верстка і набір – В.В. Задорнова

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

© Національний гірничий університет, 2009

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
д.т.н., г.н.с. О.В. Зберовський

Редакція:

головний редактор – д.т.н., г.н.с. О.В. Зберовський
заступник редактора – д.т.н., проф. С.Ф. Власов
заступник редактора – к.т.н., доц. В.В. Ішков
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.

Збагачення корисних копалин

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

Екологічна безпека

Зберовський О.В. – д.т.н., г.н.с.
Шапарь А.Г. – д.т.н., проф.
Бойко В.О. – д.т.н., проф.
Кременчуцький М.Ф. – 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

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

Шахтне і підземне будівництво

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

Геотехнічна і гірнича 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.
Доброгорський М.О. – д.г.-м.н., проф.
Нагорний В.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.

Гірничі машини.

Динаміка і міцність машин

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

Буріння свердловин

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

Електротехнічні комплекси і системи

Півняк Г. Г. – акад., д.т.н., проф.
Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.
Зайка В.Т. – д.т.н., проф.
Випанасенко С.І. – д.т.н., проф.
Бешта О.С. – д.т.н., проф.

Автоматизація технологічних процесів

Ткачов В.В. – д.т.н., проф.
Кузнєцов Г.В. – д.т.н., проф.
Бешта О.С. – д.т.н., проф.
Кочура Є.В. – д.т.н., проф.
Слесарєв В.В. – д.т.н., проф.

Охорона праці

Голінько В.І. – д.т.н., проф.
Бойко В.О. – д.т.н., проф.
Кременчуцький М.Ф. – д.т.н., проф.
Зберовський О.В. – д.т.н., г.н.с.
Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.

Адреса редакції:

49005, Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19,
НГУ, Зберовському О.В. тел./ факс 46-87-19,
46-90-98, E-mail: zberovskiA@nmu.org.ua

Требования к оформлению статей в «Сборник научных трудов НГУ»

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

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

Рекомендуемая структура статьи:

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

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

- * УДК – вверху слева, без отступов;
- * Инициалы, фамилия автора – следующая строка, выравнивание по правому краю;
- * Название статьи - заглавными буквами, жирно, выравнивание по центру; переносы и аббревиатура недопустимы;
- * Аннотация (до 5 строк) на русском, украинском и английском языках, размер 12 пт, отступ первой строки 0,5 см;
- * Текст форматруется 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.
- * Список литературы приводится в порядке ссылок в тексте, в соответствии с ДСТУ ГОСТ 7.1:2006, размером 12 пт.

Размеры	
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/ф (0562) 468-719 Зборовский Александр Владиславович - главный редактор,
469-098 Задорнова Виктория Валериевна - ответственный секретарь.

МЫШЬЯК И ФТОР В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ ЛИСИЧАНСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА ДОНБАССА

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

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

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

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

Цель и задачи исследования. В данной работе основными задачами изучения геохимии токсичных элементов в основных рабочих угольных пластах являлись: ревизия выполненных ранее исследований концентраций As и F;

классификация угольных пластов по содержанию As и F; выявление связи и расчет уравнений регрессий между концентрациями As и F, а также другими основными токсичными и потенциально токсичными элементами, петрографическим составом углей и их основными технологическими параметрами.

Результаты.. Используемый фактический материал характеризует содержание As и F в углях 20 пластов относящихся к свитам C_2^4 (пласт i_2^1), C_2^5 (пласты k_7^1 , k_8^H , k_8 , k_8^B), C_2^6 (пласты l_1 , l_2 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_5 , l_6 , l_8 , l_8^1) и C_2^7 (пласты m_3^H , m_3 , m_3^B , m_6^2 , m_6^3 и m_7) среднего отдела каменноугольного периода. Именно по этим пластам были получены наиболее представительные (более 33 анализов удовлетворяющих требованиям правильности и воспроизводимости [6, 7] и относительно равномерно распределенные по площади) результаты. В целях получения наиболее объективных и однородных данных в работе использовались в основном результаты полуколичественных и количественных анализов углей керновых проб полей шахт «Матросская» (пласты k_7^1 , l_3 , l_5 , l_6 , l_8 и m_3^B), «им. Капустина» (пласты i_2^1 , k_8^H , l_3 , l_4 , l_6 , l_8 , m_3^H , m_3 , m_6^2 , и m_7), «им. Мельникова» (пласты k_8 , l_2^1 , l_4 и l_6), «Привольнянская» (пласты k_8 , l_1 , l_2 , l_3 , l_4 , l_5 , l_6 , l_8 , l_8^1 , и m_3^H , m_3^B , m_6^2 , m_6^3 и m_7), «Кременная» (пласты k_8^H , k_8 , k_8^B и l_2^1), «Новодружеская» (пласт l_2^1), «им. 60-летия Советской Украины» (пласты k_8^H , l_4 и l_6) выполненных после 1983г. в центральных сертифицированных лабораториях геологоразведочных организаций, в ряде случаев они дополнялись анализами пластово – дифференцированных проб отобранных лично или совместно с сотрудниками геологических служб производственных геологоразведочных и добывающих организаций.

После первичного анализа и разбраковки качественных и количественных характеристик правильности и воспроизводимости результатов анализов в дальнейшей работе было использовано 939 определений As и 923 определений F в углях района.

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

В целях классификации угольных пластов района по содержанию As и F была выполнена процедура кластерного анализа. Использование кластерного анализа в целях классификации имеет ряд преимуществ, так как позволяет выполнить разбиение множества исследуемых объектов и признаков на однородные в соответствующем понимании группы или кластеры, а также выявить их внутреннюю структуру (на разных иерархических уровнях) в изучаемой выборочной совокупности. В связи с этим в данной работе использовался, как наиболее эффективный взвешенный центроидный метод, а в качестве меры сходства - евклидовое расстояние между средневзвешенными содержаниями As и F в углях пластов. Как показано в [7] такой подход является наиболее эффективным и позволяет не только установить количество результирующих кластеров, но и выявить их структуру.

Результаты кластерного анализа концентраций As в угле пластов района взвешенным центроидным методом приведены на рис. 1, а F – на рис. 2.

На дендрограмме кластеризации пластов по содержанию As (см. рис. 1) первый кластер составляют пласты со средним содержанием (от 0 до 156 г/т, при среднем по кластеру 91 г/т), второй кластер формирует только 1 пласт с аномально высокими концентрациями (средневзвешенное значение по пласту - 269 г/т). В структуре первого кластера четко выделяются два вложенных кластера. В кластере 1.1 находятся 8 пластов с минимальными содержаниями (от 0 до 83 г/т, при среднем по кластеру (соответствует фоновому значению) 44 г/т), а в кластере 1.2 объединены 11 пластов с повышенными концентрациями (от 107 до 200 г/т, при среднем по кластеру 130 г/т). Обращает внимание близость (в пределах 95% доверительного интервала) средневзвешенных значений содержания As в углях пластов первого кластера и во всех изученных пластах района (средневзвешенное значение 95 г/т).

На дендрограмме кластеризации пластов по содержанию F (см. рис. 2) первый кластер составляют 15 пластов с минимальным среднепластовым содержанием (от 0 до 79 г/т, при среднем по кластеру 39 г/т), а второй кластер – всего 3 пласта с максимальными концентрациями (от 117 до 161 г/т, при среднем по кластеру 137 г/т). Анализ структуры кластеров позволяет в свою очередь выделить в первом кластере два вложенных кластера. В кластере 1.1 объединяющем пласты: i_2^1 , l_1 , l_2^1 , l_4 , l_5 , l_6 , l_8^1 , m_3^B , m_6^2 , m_6^3 и m_7 (среднепластовые содержания от 0 г/т до 39 г/т, при среднем по кластеру (соответствует фоновым значениям по району) 19 г/т), полностью отсутствуют пласты свиты C_2^5 . В кластере 1.2 объединены пласты с повышенной концентрацией k_8 , l_3 , l_8 и m_3^H (среднепластовые содержания от 52 г/т до 79 г/т, при среднем по кластеру 65 г/т). Обращает внимание близость (в пределах 90% доверительного интервала) средневзвешенных значений содержания F в углях пластов первого кластера и во всех изученных пластах района (средневзвешенное значение 44 г/т).

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

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

2) угли пласта i_2^1 формирующего второй кластер (см. рис. 1) отличаются от вошедших в первый в целом более высоким содержанием фюзенизированного вещества и повышенной диагенетической (в основном – глинистой) и эпигенетической (в частности, сульфидной) минерализацией. Пласт i_2^1 расположен в верхней части толщи мелкозернистых песчаников и несколько ниже глинистого известняка l_4 . Из всех исследованных по району угольных пластов он отличается

ся исключительной невыдержанностью и фрагментарностью распространения. Для него характерны многочисленные расщепления и слияния, резкие изменения мощности на весьма небольших интервалах, различные типы размывов и значительное количество элементарных слоев и пачек.

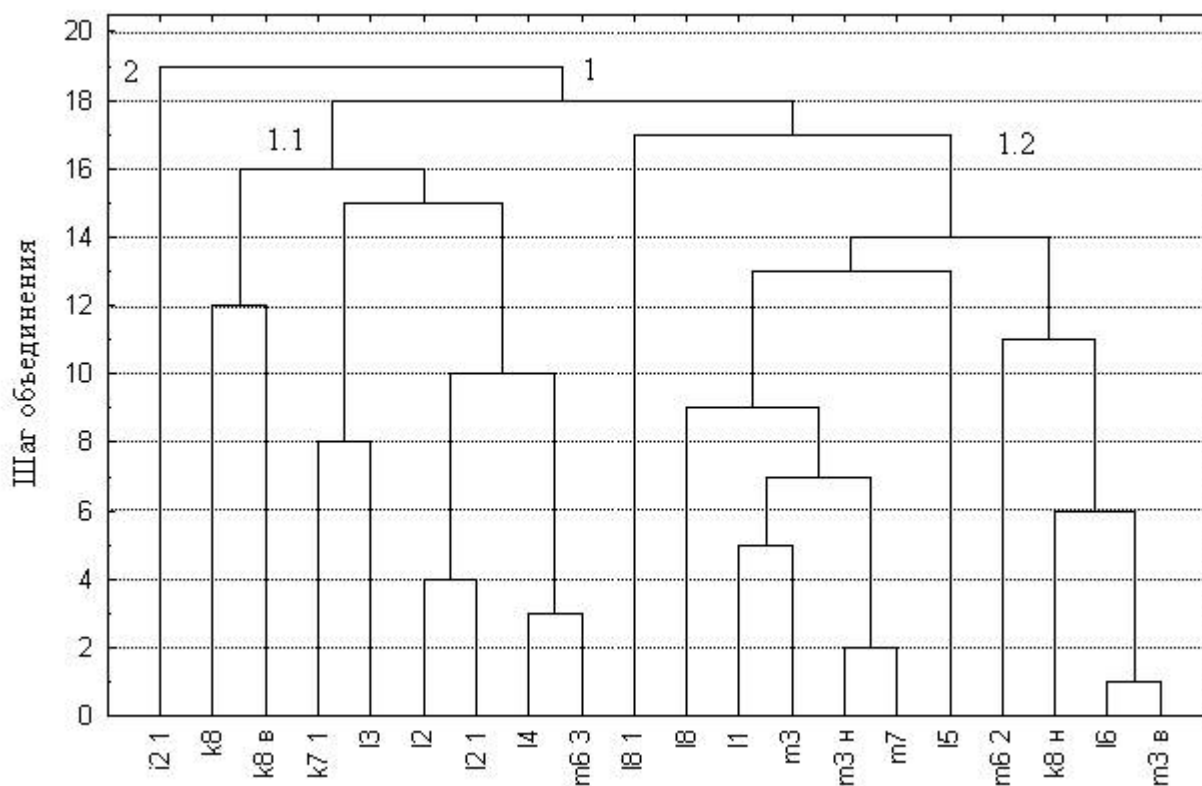


Рис.1. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Лисичанского геолого-промышленного района по содержанию As в угле.

3) для 3 пластов угля формирующих кластер 2 на классификационной дендрограмме пластов по содержанию F (см. рис. 2) общими характерными особенностями являются локальные бифуркации, незначительная и изменчивая мощность, повышенная зольность, сернистость и восстановленный тип углей (тип «в»). Эти особенности наиболее отчетливо проявляются при сопоставлении пластов k_8 и k_8^B . Накопление торфяника, соответствующего пласту k_8^B , было резко прервано интенсивной морской трансгрессией с северо-востока непосредственно на пласт, с формированием в его кровле мощного известняка L_1 . В том случае, когда расщепление пласта k_8 отсутствует и (или) торфяник непосредственно перекрывается породами заливно-лагунных фаций или дельтовыми отложениями подводных выносов рек, а, следовательно, и расстояние от пласта угля до известняка L_1 превышает 1м, он скачкообразно меняет свою характеристику и становится маловосстановленным (тип «а»), малосернистым, малозольным, а содержание F в угле резко (в 1,5 – 2 раза) уменьшается.

Для выявления основных факторов, контролирующих накопление As и F в углях района, а также его связи с другими основными токсичными и потенциально токсичными элементами был выполнен корреляционный и регрессионный анализы его концентраций с основными технологическими показателями,

содержаниями этих элементов и петрографическим составом углей. В целом по району установлено:

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

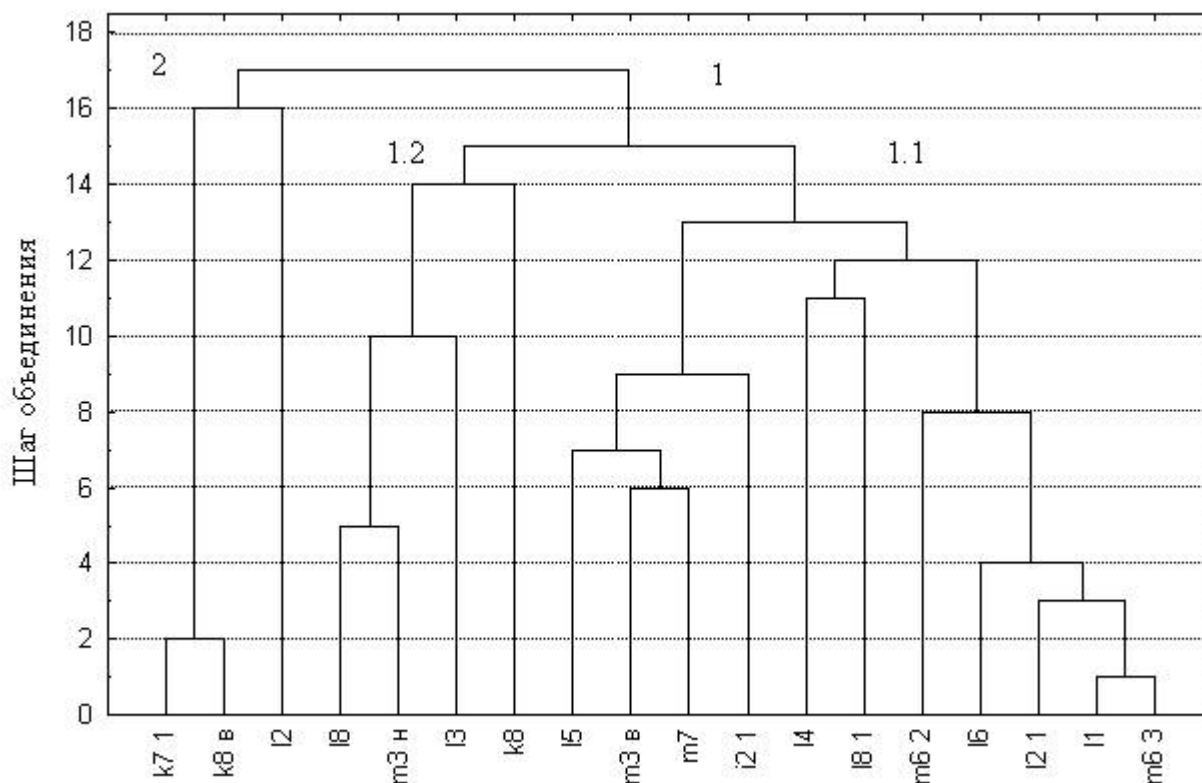


Рис.2. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Лисичанского геолого-промышленного района по содержанию F в угле.

2) статистически значимая связь содержаний F с сернистостью, зольностью и петрографическим составом углей отсутствует, в то же время как для пластов формирующих кластеры 1.2 и особенно 2 выявлена значимая положительная связь содержаний F с вариациями мощности, количеством диагенетической сульфидной минерализации, зольностью и степенью восстановленности углей. Кроме того, для всех этих пластов установлена значимая положительная связь (коэффициент корреляции Пирсона 0,47) между концентрациями F и содержанием CaO, а так же P₂O₅ в золе углей;

3) в углях района As образует геохимическую ассоциацию с Be (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,49, график регрессии на рис. 3), с F (значимый коэффициент корреляции Пирсона –0,48, график регрессии на рис. 4), с Mn (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,36, график регрес-

сии на рис. 5) и с Pb (значимый линейный коэффициент корреляции 0,51, график регрессии на рис. 6), линейные уравнения регрессии:

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

в то же время на площади пластов (с использованием метода Червякова В.А. [8]) формирующих кластеры 1.2 и 2, а также на отдельных участках пластов объединенных в кластер 1.1 выявлена значимая положительная корреляционная связь As с содержанием фюзенизированного вещества углей, диагенетической глинистой и эпигенетической сульфидной минерализацией;

4) в углях района F образует геохимическую ассоциацию с As (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,48, график регрессии на рис. 7), с Be (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,46, график регрессии на рис. 8) и с Co (значимый линейный коэффициент корреляции 0,52, график регрессии на рис. 9), линейные уравнения регрессии:

$$\begin{aligned} F &= 0,49542 - 0,5031As; & F &= 0,47421 - 0,4596Be; \\ F &= 0,0077 + 1,0667Co; \end{aligned}$$

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

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

7) содержания F в углях значимо зависят от мощности пластов, особенностей их строения сформированных на сингенетическом этапе, литологии кровли и почвы.

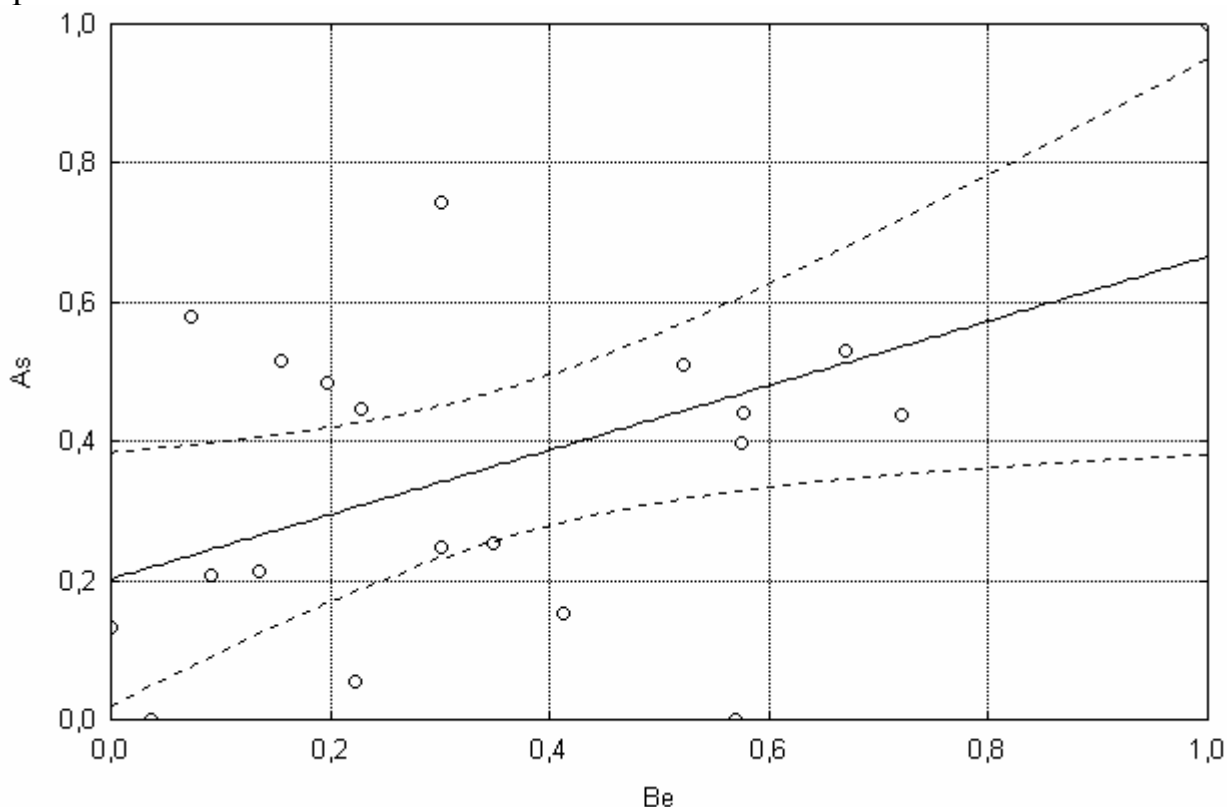


Рис. 3. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Be в основных угольных пластах Лисичанского района

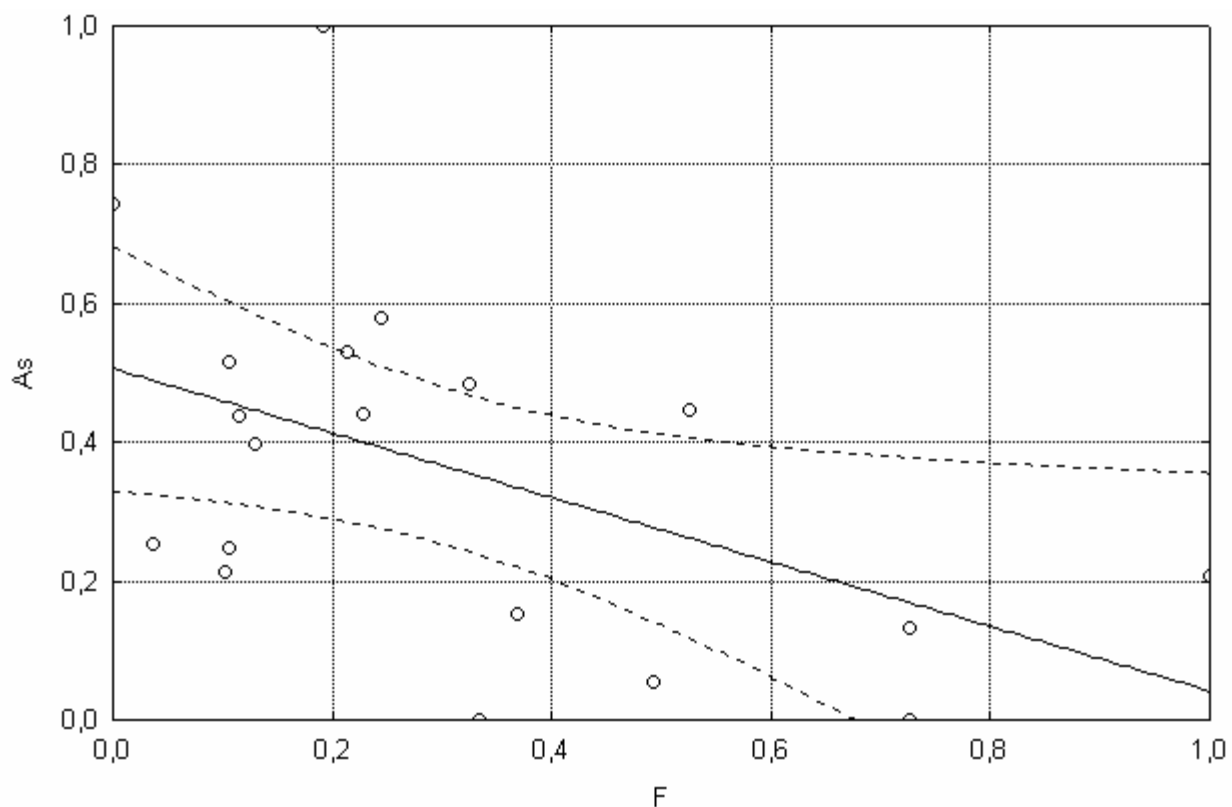


Рис. 4. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и F в основных угольных пластах Лисичанского района

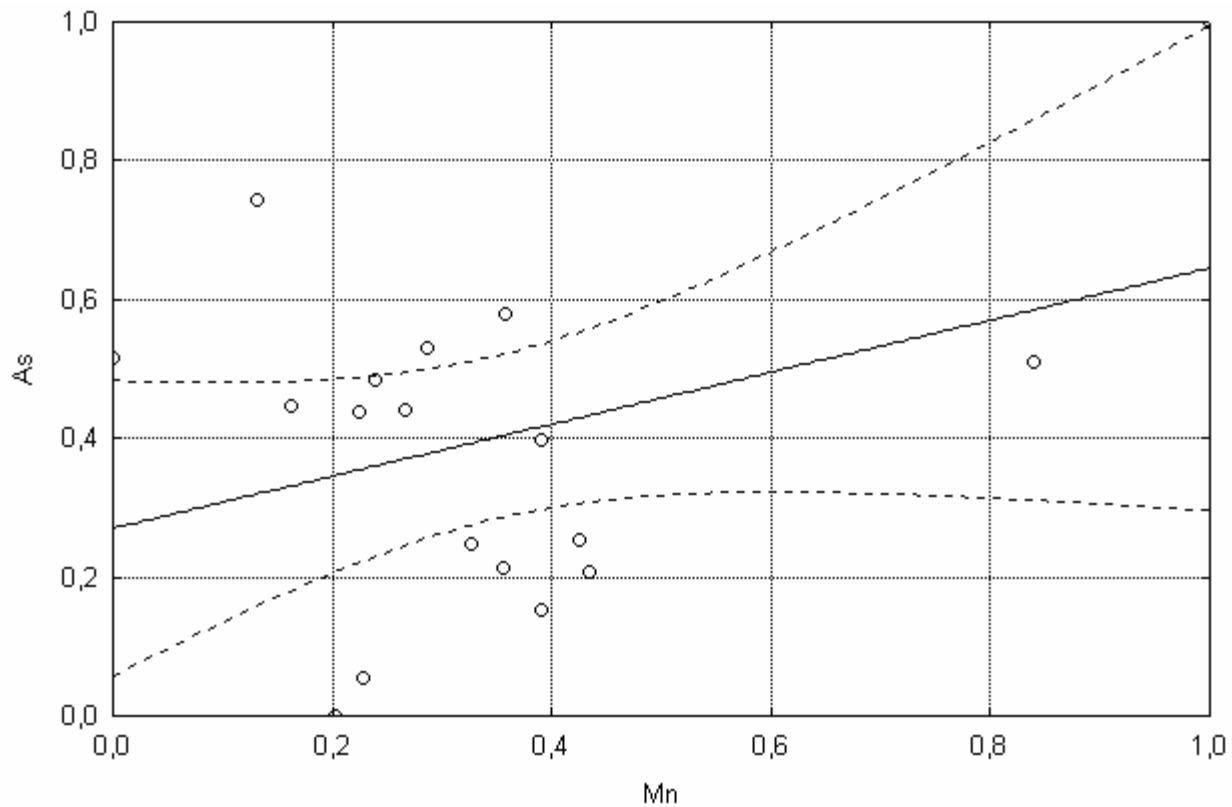


Рис. 5. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Mn в основных угольных пластах Лисичанского района

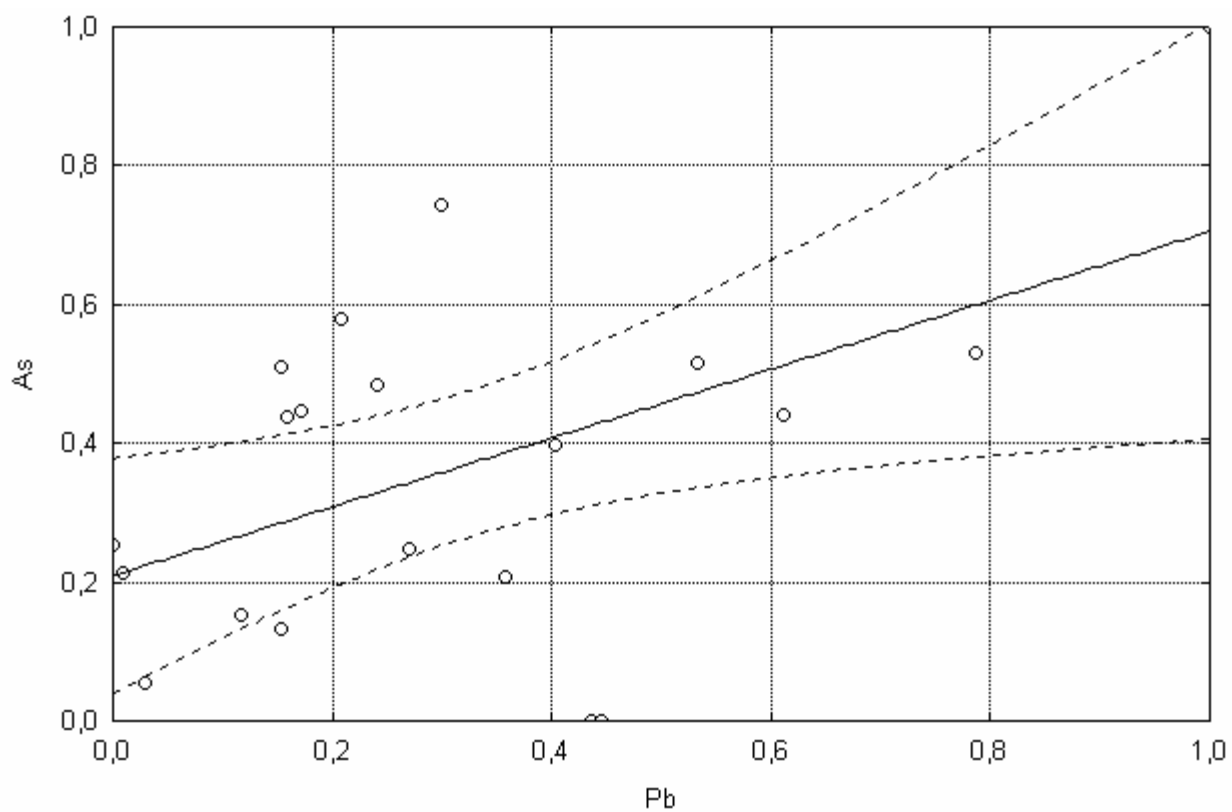


Рис. 6. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Pb в основных угольных пластах Лисичанского района

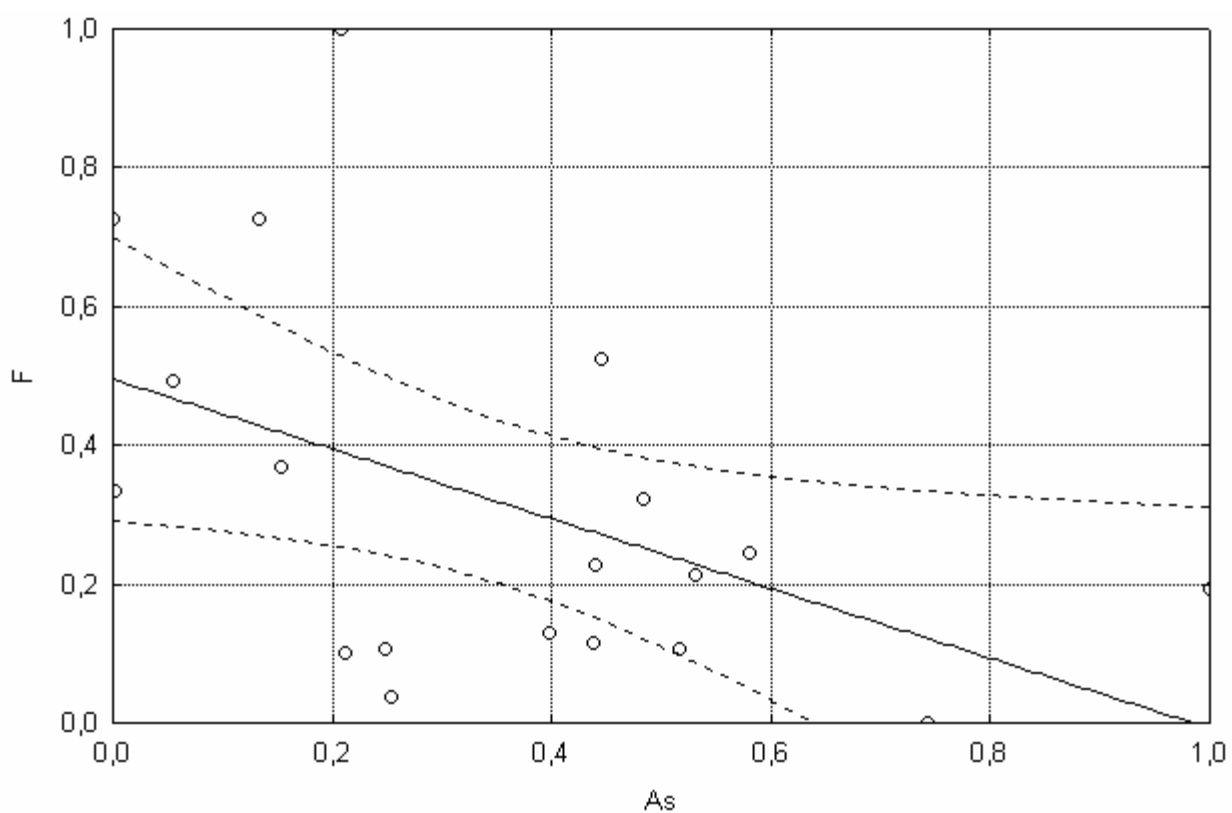


Рис. 7. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями F и As в основных угольных пластах Лисичанского района

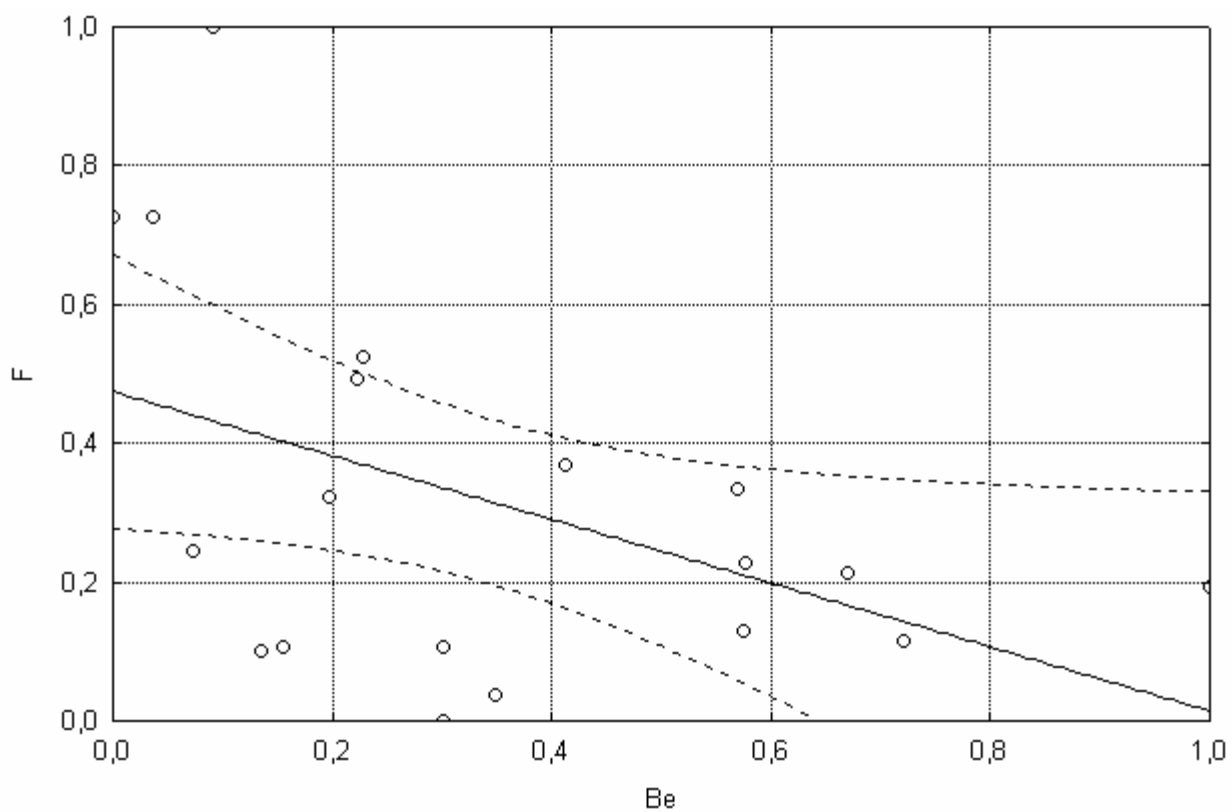


Рис. 8. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями F и Be в основных угольных пластах Лисичанского района

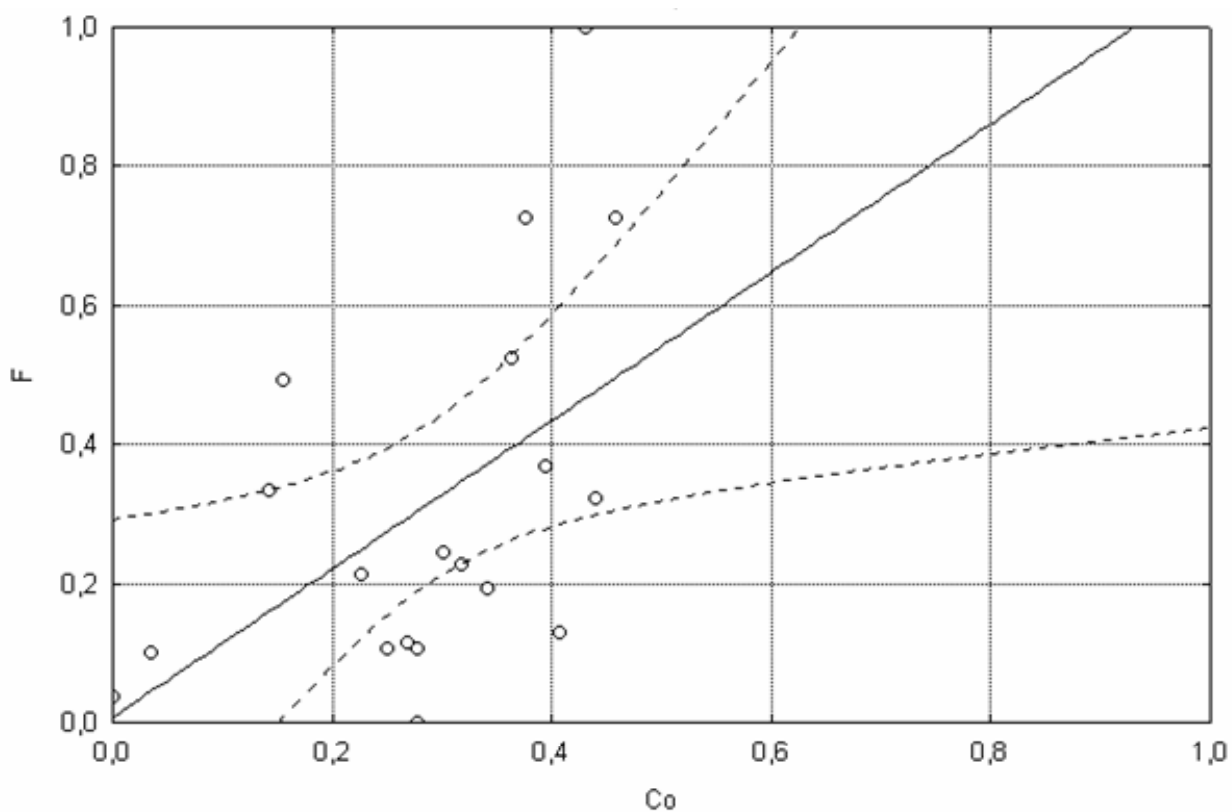


Рис. 9. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями F и Co в основных угольных пластах Лисичанского района

Выводы.

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

2. Аномально высокие концентрации As характерны для углей пласта i_2^1 (максимальное по району средневзвешенное содержание). В минимальном количестве As содержится в углях пластов k_7^1 , k_8 , k_8^B , l_2 , l_2^1 , l_3 , l_4 , и m_6^3 . Максимальными содержаниями F отличаются угли пластов k_7^1 , k_8^B , и l_2 , а минимальными i_2^1 , l_1 , l_2^1 , l_4 , l_5 , l_6 , l_8^1 , m_3^B , m_6^2 , m_6^3 и m_7 .

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

4. Установленная для пластов формирующих кластеры 1.2 и 2 значимая положительная связь содержаний F с вариациями мощности, количеством диагенетической сульфидной минерализации, зольностью, содержанием CaO, а так же P_2O_5 в золе углей и степенью их восстановленности свидетельствует, что накопление F в углях контролировалось в основном особенностями формирования торфяника и диагенеза. Этот вывод подтверждается значительной талассофильностью F и его высокой миграционной способностью (как и фосфора) в кислой среде.

5. Для углей района типоморфной является геохимическая ассоциация As с Be, F, Mn, Pb и F с As, Be, Co.

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

Основное практическое значение полученных результатов состоит в классификации угольных пластов района по содержанию As и F, а так же в расчете уравнений регрессии между элементами, входящими в их геохимические ассоциации.

Список литературы

1. Ишков В.В., Чернобук А.И., Дворецкий В.В. О распределении бериллия, фтора, ванадия, свинца и хрома в продуктах и отходах обогащения Краснолиманской ЦОФ. // Науковий вісник Національної гірничої академії України. №5. - Днепропетровск, 2001. - С. 84-86.

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

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Нагорним В.М.
Надійшла до редакції 14.05.09*

УДК 55(477.63/64):549.01:552.2

© В.В. Ишков, А.Л. Лозовой, М.А. Труфанова

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ УЧАСТКОВ РАСПОЛОЖЕНИЯ ДНЕПРОВСКИХ ПОРОГОВ

Впервые установлены основные особенности геологического строения участков Днепро-
ровских порогов.

Вперше були встановлені основні особливості геологічної будови ділянок розташу-
вання Дніпровських порогів.

The basic features of geological structure of areas of Dnepr rapids are first installed.

Днепровские пороги были известны с незапамятных времен. Первое досто-
верное и дошедшее до нас из глубины веков упоминание о них принадлежит
«отцу истории» Геродоту [1]. Посетив в 5 веке до н. э. греческую колонию Оль-
вию, он отмечает, что там, где Борисфен перестаёт быть судоходным от моря,
расположена местность Герра, в которой скифы хоронят своих царей. Археоло-
гические находки, сделанные в курганах скифской эпохи, дают основание ут-
верждать, что легендарная Герра находится в пределах Днепропетровской об-
ласти. И именно здесь, на сакральной для скифов территории и расположены
Днепровские пороги.

В десятом веке византийский император Константин Багрянородный в со-
ставленном для поучения сыну сочинении «Об управлении империей» (948-952
гг.) [2] впервые подробно описал пороги, приведя соответствующие названия
«по-росски» и «по-славянски». В то же время, несмотря на многочисленные ис-

торико-этнографические сведения о Днепровских порогах, достоверная информация о геологическом строении участков расположения порогов до настоящего времени практически полностью отсутствует.

В связи с этим основной целью данных исследований являлось установление особенностей геологического строения участков Днепровских порогов и предварительный анализ возможного использования полученных результатов в целях экономического развития Украины.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Определение геодезических координат и установление на местности положения затопленных Днепровских порогов, наблюдение и анализ морфогенетических особенностей форм современного рельефа на участках их расположения.

2. Установление минералого-петрографического состава и структурно-текстурных особенностей пород, формирующих Днепровские пороги. Классификация пород и определение принадлежности их к ранее установленным в регионе комплексам.

3. Выявление геолого-структурных особенностей участков расположения Днепровских порогов.

Основными источниками первичных топогеодезических картографических материалов являлись архивные и опубликованные историко-географические материалы, современные официальные издания административных карт Днепропетровской и Запорожской областей масштаба 1:250 000 и разномасштабные космоснимки территории долины р. Днепр между городами Днепропетровском и Запорожьем.

Использование данного комплекса материалов позволило определить координаты порогов с точностью до секунды и положение их границ на местности с точностью $\pm 10 - 20$ м.

Наблюдение и анализ морфогенетических особенностей рельефа на участках расположения Днепровских порогов позволили выявить на их границах современные овражно-балочные системы. Как правило, они характеризуются резко выраженным V-образным поперечным профилем, крутым продольным профилем и субпараллельной линейностью простираения относительно границ порогов. Подобные геоморфологические образования являются общепринятыми признаками тектонических разрывных нарушений. Наличие линейных ступенчатых уступов и линейные зоны мульдоподобных депрессий в формах современного рельефа на территории, непосредственно примыкающей к этим овражно-балочным системам свидетельствует об активной динамике вертикальных движений блоков земной коры на участках порогов и в настоящее время.

Основными источниками первичных геолого-геофизических данных являлись листы М-36-XXXVI (Днепропетровск) и L-36-VI (Запорожье) Центральноукраинской серии Государственной геологической карты Украины масштаба 1:200 000, схема рельефа кристаллических пород фундамента территории Среднего Приднепровья Украинского кристаллического щита масштаба 1:200 000, результаты гравитационной и магнитометрической съемки территории Среднего Приднепровья Украинского кристаллического щита масштаба 1:200 000 и, час-

точно, результаты гравитационной и магнитометрической съемки долины р. Днепр между городами Днепропетровском и Запорожьем масштаба 1:50 000.

Собранный комплекс первичных геолого-геофизических данных позволил установить наличие и площади распространения на изучаемой территории определенных комплексов геологических образований, оценить их возрастные взаимоотношения, геоструктурное положение и минералого-петрографические особенности, а также выполнить комплексную интерпретацию первичных геолого-геофизических данных.

В качестве идейной основы комплексной геоструктурной интерпретации первичных геолого-геофизических данных на исследуемой территории была принята «Новая ротационная гипотеза структурообразования в земной коре» проф. Тяпкина К.Ф. [3, 4]. Подчеркнем ряд характерных особенностей разломных структур, непосредственно вытекающих из этой концепции.

1. Разломы земной коры располагаются в пространстве не произвольно, а укладываются в определенные системы. Под системой понимаются разломы двух взаимно-ортогональных направлений. В пределах системы разломов наблюдается некоторая иерархическая соподчиненность разломов, заключающаяся в определенном чередовании относительно крупных и мелких разломов. Каждая система разломов возникает в процессе определенной тектонической эпохи. Ранее проведенными исследованиями в пределах Украинского щита установлено, по крайней мере, шесть систем разломов, характеризующихся следующими азимутами простираний: 0 и 270, 17 и 287°, 35 и 305, 45 и 315, 62 и 332, 77 и 347° [3, 4]. В процессе выявления и изучения пространственного положения индикаторов разломов в физических полях и особенностях геологического строения мы исходили из условий наличия этих шести систем и достоверности установленной ранее ориентировки осевых линий слагающих их разломных структур, допуская возможные отклонения отдельных элементов в пределах $\pm 2-3^\circ$.

2. Разломы прослеживаются на поверхности Земли в виде отдельных фрагментов. Фрагментарность разломов является следствием возникновения очередной системы разломов земной коры на гетерогенном (блоковом) основании и нарушении возникающих разломов в процессе последующих эпох тектонических активизаций Земли. В данном случае важно подчеркнуть, что каждая разломная структура состоит из отдельных далеко не однородных фрагментов, объединенных единой осевой линией выдержанного простирания. При этом особенность фрагментов в физических полях может быть слабо выражена либо сменой индикаторов разломов, либо шириной зоны их проявлений, либо и тем и другим одновременно.

3. Одной из особенностей разломов является их «трансформность». Под этим термином понимается одна из особенностей разломов, заключающаяся в том, что отдельные их фрагменты оказываются параллельно смещенными относительно осевой линии на ограниченные расстояния вдоль поперечных разломов этой же системы или диагональных разломов других систем.

4. Установленный закон «унаследованной активизации разломов» [2] заключается в том, что в процессе последующих тектонических активизаций разрывное нарушение земной коры, уже разбитой на блоки, осуществляется с уче-

том предыдущих блокировок. Образование новой системы разломов происходит частично за счет раскалывания блоков, а частично – за счет обновления (активизации движения) фрагментов разломов ранее возникших систем, но так, что осевые линии вдоль формируемых разломов совпадают с направлением разрядки планетарных напряжений в соответствующую тектоническую эпоху.

Из приведенных в трех первых пунктах особенностей формирования структур земной коры следует, что если вынести на карту все индикаторы разломов, то они должны отражать поле планетарных напряжений соответствующей тектонической эпохи, в результате разрядки которого и происходила ломка земной коры. Современное проявление разломных структур на этой карте должно соответствовать полосам концентрации индикаторов, состоящим из фрагментов разной ширины, смещенным относительно осевой линии и представленным различными сочетаниями этих индикаторов.

Четвертая особенность разломов имеет существенное значение для восстановления последующей истории развития фрагментов разломов ранее возникших систем в более поздних тектонических активизациях движения по ним.

Установление систем разломов по геолого-геофизическим данным происходило в три этапа: 1 – выявление характерных признаков (индикаторов) разломных структур в физических полях, рельефе докембрийского фундамента и земной поверхности, речной и балочной сети; 2 – восстановление фрагментов разломов (зон концентрации индикаторов на плоскости наблюдений); 3 – объединение фрагментов в единые разломные структуры.

Геолого-геофизические признаки (индикаторы) разломных структур и их выражение в физических полях подробно рассмотрены в многочисленной специальной литературе. В результате комплексной геоструктурной интерпретации первичных геологогеофизических данных установлено, что на участке каждого из порогов расположено пересечение от 2 до 4 глубинных разломов

Известно, что в долине р. Днепр между городами Днепропетровск и Запорожье фундамент Украинского кристаллического щита сложен пятью комплексами пород: Днепропетровским, Славгородским, Александровским, Мокромосковским и Демуриным. В то же время, масштабы первичных геолого-геофизических материалов в большинстве случаев не позволяли однозначно классифицировать породы, слагающие пороги, и определить их формационную принадлежность, а также особенности минералого-петрографического состава.

Для установления минералого-петрографического состава и структурно-текстурных особенностей пород формирующих участки Днепровских порогов, классификации пород и определение принадлежности их к ранее установленным в регионе комплексам была выполнена фотодокументация естественных и искусственных обнажений и проведен отбор проб для минералого-петрографических исследований.

В результате выполненных работ установлено, что все Днепровские пороги сформированы гранитоидами Днепропетровского комплекса (Ar_1dn) Нижнеархейского возраста, образовавшимися 3,2 – 3,4 миллиардов лет назад. Это биотитовые граниты, роговообманково-биотитовые граниты (Кодацкий, Вовниговский пороги), гранодиориты (Сурский, Лоханский пороги), биотитовые плагио-

граниты (Лоханский, Звонецкий, Ненасытецкий пороги), двуслюдяными гранитами (Вовниговский порог), эпидот-биотит-микроклиновыми плагиогранитами (Звонецкий порог), микроклиновыми гранитами (Вовниговский порог), выветрелыми плагиогранитами (Кодацкий, Звонецкий, Ненасытецкий, Будилковский пороги), эпидотизированными биотитовыми гранитами (Кодацкий порог), и эпидозитом (Кодацкий порог). Формационная принадлежность пород образующих Лишний и Вольный порог из-за большой степени затопленности территории определялась на основании результатов комплексной геолого-геофизической интерпретации первичных материалов.

В гранитоидах на участках порогов наиболее часто наблюдаются массивные, гнейсовидные, пятнистые и полосчатые текстуры, реже – биотит-роговообманковые рститы. На границах участков порогов широко развиты зоны катаклаза представленные как субпараллельными, так и взаимно-ортогональными жилами микроклина, эпидота и кварца. Жильные образования часто полиминеральны и характеризуются сложным строением. В этом случае обычно наблюдается следующая зональность от центра к зальбандам: кварц, эпидот, микроклин. В естественных обнажениях у границ порогов встречены линейные участки повышенной трещиноватости сформированные взаимно ортогональными трещинами.

Микроскопически породы характеризуются большим количеством полихронных реакционных взаимоотношений между минералами, пертитов и антипертитов, включений хадакристаллов в ойкокристаллах и различно ориентированных микротрещин с мономинеральными и полиминеральными прожилками.

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Несмотря на то, что в долине р. Днепр между городами Днепропетровск и Запорожье фундамент Украинского кристаллического щита сложен 5 комплексами пород (Днепропетровским, Славгородским, Александровским, Мокромосковским и Демуриным), все Днепровские пороги сложены одними и теми же горными породами - гранитоидами Днепропетровского комплекса (Ar_1dn) Нижнеархейского возраста, образовавшимися 3,2 – 3,4 миллиардов лет назад. Это одни из древнейших пород не только Украины, но и планеты, естественным образом выходящие на земную поверхность. Их формирование дало начало истории протоконтинентов Земли.

2. Геологическими границами порогов являются зоны тектонических разрывных нарушений, установленные по геоморфологическим и геофизическим признакам (данные грави- и магниторазведки М 1:200 000 и М 1:50 000). Выявленные системы разломов являются границами блоков и формируют блоковое строение земной коры на территории расположения Днепровских порогов.

3. Исследования вещественного состава и текстурно-структурных особенностей горных пород свидетельствуют о неоднократных процессах активизации движения блоков земной коры по разломам на участках расположения порогов. В то же время, анализ индикаторов тектонических движений в рельефе на примыкающей к порогам территории показывает, что вертикально-восходящее перемещение локальных блоков земной коры, которые, собственно, и образовали своей верхней частью пороги в долине р. Днепр, продолжается и в настоящее время.

4. Находящиеся непосредственно на участках расположения Днепровских порогов, тектонические разломы земной коры являются наиболее проницаемыми зонами, а следовательно массо- и энерготранспортными «артериями» из глубин Земли к ее поверхности.

5. Доказанные в ходе выполненных исследований многократные этапы активизации движения блоков земной коры, сопровождающиеся различными типами деформаций и изменяющимися напряженным состоянием массивов горных пород, служат своеобразными «генераторами» вариаций электромагнитного поля.

6. Перемещение пород различной плотности в процессе движения блоков земной коры по тектоническим разломам, существенным образом, отражается в положении и характере локальных аномалий поля силы тяжести.

7. Потенциальная и внутренняя энергия, накопленная при образовании минералов и структур горных пород, переходят в другие виды энергии, выделяющиеся в результате последующих этапов минералообразования и деформационных процессов земной коры на участках Днепровских порогов.

Основное научное значение полученных результатов заключается в том, что впервые были установлены основные особенности геологического строения участков расположения Днепровских порогов.

Практическое значение полученных результатов состоит в следующем.

- Уникальность рассматриваемых участков, слагающего их комплекса горных пород и геолого-структурных особенностей территорий расположения Днепровских порогов, уже на данном этапе изучения, позволяет рассматривать эти образования как один из наиболее перспективных туристических объектов региона.

- Результаты комплекса дальнейших геолого-геофизических исследований территории Днепровских порогов могут лечь в основу создания международного научного полигона по изучению процессов тектономагматической активизации и минералообразования в древнейший период формирования планеты. Организация работы международного научного полигона будет способствовать привлечению инвестиций в экономику региона.

- Полученные результаты позволили Днепропетровскому общинному фонду (E-mail: nppsw@optima.com.ua, сайт: www.dniprovi-porogy.org) разработать план комплексных научных исследований территорий расположения Днепровских порогов на 2009г. с привлечением ученых в области химии, физики, астрофизики, биологии, медицины и аграрных наук.

Список литературы

1. Геродот. История. В 9-ти кн. / Пер. Г.А. Стратановского. — М.: ООО "Издательство АСТ", "Ладомир", 2001. — 752 с. — (Классическая мысль).
2. Константин Багрянородный. Об управлении Империей. / Пер. Г.Г. Литаврина. М.: Наука. 1991. — 496 с. — (Древнейшие источники по истории народов СССР).
3. Тяпкин К.Ф., Кивелюк Т.Т. Изучение разломных структур геолого-геофизическими методами. — М.: Недра, 1982. — 239 с.
4. Тяпкин К.Ф. Изучение разломных и складчатых структур докембрия геолого-геофизическими методами. — Киев: Наукова думка, 1986. — 168 с.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Нагорним В.М.
Надійшла до редакції 06.04.09*

О РЕДКОМЕТАЛЬНОМ ОРУДЕНЕНИИ НОВОУКРАИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (ЗАПАДНОЕ ПРИАЗОВЬЕ)

Рассмотрены типы метасоматитов характерные для сложно построенных, высокометаморфизованных и гранитизированных толщ докембрия содержащих железистые кварциты и редкометальное оруденение. Показана связь изменения минерального состава метасоматитов и состава метаморфических пород, а также метасоматических изменений с уровнем содержания урана, тория и их соотношения между собой.

Розглянуті типи метасоматитів, які характерні для складно побудованих, високо метаморфізованих і гранітизованих товщ докембрію, що містять залізисті кварцити і рідкіснометалеve зруденіння. Показаний зв'язок зміни мінерального складу метасоматитів і складу метаморфічних порід, а також метасоматичних змін з рівнем вмісту урану, торію та їх співвідношення між собою.

Types are considered metasomatyties characteristic for difficultly built, high-metamorphism and granites of rocks of pre-cambrian of containing ferrous quartzites and rare-metal mineralization. The connect of change of mineral composition metasomatyties and composition of metamorphic breeds, and metasomatyctic changes with the level of maintenance of uranium, thorium and their correlation between itself is shown.

В пределах восточной части Украинского щита имеет место закономерное изменение ведущих эндогенных процессов, структурообразования и развитие оруденения, в частности, связанного с метасоматизмом [1-7]. Однако представление о геологических условиях локализации таких месторождений и рудопроявлений остается проблемным, важным для понимания основных закономерностей развития оруденения в конкретных рудных полях и месторождениях имеющих комплексный характер и длительную историю развития.

Наше исследование посвящено редкометальному рудопроявлению приуроченного к железисто-кремнистым формациям докембрия Приазовья – Новоукраинскому железорудному полю (Западное Приазовье). Его целью является изучение среды рудообразования, места оруденения в истории развития железорудного поля, выяснении геологических, геохимических особенностей редкометального рудопроявления.

В основу статьи положены данные детального изучения геологического строения Новоукраинского железорудного поля [8], количественные определения содержания элементов в пробах отобранных нами в зонах редкометального оруденения и выполненных в Научно-исследовательском радиологическом институте (г. Казань), филиале ЦНИГРИ (г. Тула), данных первичной геологической документации Приазовской ГРЭ.

Структурная позиция. Новоукраинское железорудное поле расположено в Корсакской депрессионно-складчатой зоне (КДСЗ) Западного Приазовья. Эта структура ограничена на востоке Черниговско-Корсакской зоной ступенчатых, на юге – Бердянско-Мариупольской субширотной зоной разломов, обрамляющей Азово-Черноморскую впадину. Западная ее граница проходит по Западно-Приазовскому субмеридиональному разлому. На севере КДСЗ граничит с Гу-

ляйпольско-Куйбышевским поднятием (по Конкскому разлому). Докембрийские породы КДСЗ имеют субмеридиональное простирание с изменчивыми углами падения (20-90°, часто опрокинутое). Изменение направления простирания пород в рассматриваемой зоне наблюдается южнее Бердянского разлома (субширотное – северо-восточное простирание Орловское, Инзовское проявления железистых кварцитов).

Внутренняя часть КДСЗ осложнена серией субмеридиональных разрывных нарушений дугообразной формы, большого радиуса кривизны, параллельных Черниговско-Корсакской зоне. Осевой из этих разломов совместно с последней обособливает Корсакский блок, а совместно с Западно-Приазовским (Азово-Павлоградским) разломом – Куксунгур-Новоукраинский блок (на западе КДСЗ). Вблизи осевого разлома наблюдается уменьшение углов падения метаморфических толщ по сравнению с таковыми в пределах железорудных месторождений (70-90°). Кроме этого вдоль нарушения наблюдается выход плагиогранит-диорит-тоналит-гнейсо-кристаллосланцевой и карбонатной породных ассоциаций. Карбонатный комплекс пород характерен и для западной части КДСЗ. Детали строения рассмотрены нами ранее [8]. Вторая система тектонических разрывов (азимут простирания 295-315°) развита по всей площади КДСЗ и переходит в Салтычанскую (Елисеевскую) купольную структуру. Направление этих разломов совпадает с Хортицкой и Днепровско-Дзержинской зонами разломов северо-западного простирания, выраженными в Орехово-Павлоградской структурно-формационной зоне и Приднепровском блоке, а также с Сорокинской зоной разломов в Гуляйпольском блоке.

Расстояние между разломами этой системы порядка 7-11 км, в предыдущей системе оно составляет 2-6 км. Отметим также, что обе системы разломов сгущаются в зоне Западно-Приазовского разлома в районе Новоукраинского рудного поля. К Западно-Приазовскому и параллельным ему разрывным нарушениям приурочены зоны альбититов, щелочных сиенитов, роговообманковых и микроклиновых гранитов, пегматитов и зон катаклаза, милонитизации пород метаморфических толщ. Наряду с разрывными нарушениями в КДСЗ выражены Куксунгурская, Корсакская (брахиформные) и Новоукраинская (линейная) складчатые структуры [8, 9].

Для Новоукраинской структуры характерно северное погружение шарнира, невыдержанное (315-5°) простирание. Синклинальное строение структуры подчеркивается наличием центроструклиального замыкания в южном ее окончании и прослеживанием ее пород в замке рядом скважин. На остальной части синклинали шарнир находится на большой глубине (1500 м), и, судя по интенсивной гранитизации пород крыльев, донная ее часть отсутствует. В целом структура фрагментирована разломами на ряд блоков. Эти структурные элементы в рудном поле выделяют Сергеевское, Новоукраинское и Павловское месторождения (с юга на север) железистых кварцитов. Тектонический блок, включающий Сергеевское месторождение, является наиболее приподнятым, что обуславливает неглубокое залегание шарнира и тектоническую проработку пород.

Тектонические нарушения, определяющие границы месторождения железистых кварцитов и размещение редкометального оруденения, имеют субширотное и северо-западное простирание. С этой системой связаны смещения до 700 м по вертикали, мелкая блокировка синклинали, а также правые сдвиги (до 300 м) и тела пегматоидных гранитов (до десятков метров мощности), реже дайки диабазов. Система нарушений с азимутом простирания 295-315° фиксируется зонами катаклаза и диафторических изменений, и характеризуется преобладанием горизонтальных смещений над вертикальными (соотношениями 2:1, при амплитуде перемещения – первые сотни метров). Обе системы нарушений можно отнести к долгоживущему типу, что подчеркивается различным породным заполнением ослабленных зон, неоднородностью деформаций (катаклаз, милонитизация, брекчирование), перекристаллизацией, наложением разных минеральных ассоциаций процесса метасоматоза. Добавим, что в северной части рудного поля имеет место нарушение северо-восточного простирания, приведшее к сдвигу тектонический блок Павловского месторождения на запад (600-800 м). Кроме этого, в сочетании с разломами северо-западного направления данное нарушение обуславливает мелкую блокировку синклинали. Последнее или появление структур третьего порядка, определяет размещение участков железистых кварцитов на месторождениях. Так, в пределах Сергеевского месторождения по морфологии пластов железистых кварцитов, характеру их изменения, степени гранитизации и диафторических изменений выделяется три участка (Южносергеевский, Центральный, Барвинковский), в Новоукраинском месторождении – Южный и Северный участки. Наибольшая нарушенность характерна для северной части Центрального и Барвинковского участков. Сюда тяготеет и самая большая для рудного поля зона нулевых и отрицательных гравиметрических аномалий, обусловленная купольными структурами диафторированных гранито-гнейсов и мигматитов. Подобная аномалия отмечается к западу от Барвинковского и Южного участков. Появление таких зон на рудном поле сопровождается искажением углов простирания пород, нарушением сплошности пластов железистых кварцитов (разлинзование, будинаж, гранитизация), флексурные изгибы пластов, мелкие складки, зоны скола-смятия, перекристаллизации. Флексурные изгибы сопровождаются изменением как элементов залегания, так и мощности пластов. Увеличение мощности приурочено к участкам их пологого залегания, а уменьшение, вплоть до выклинивания, к крутым углам падения. Пластическое течение пород фиксируется развитием складок волочения, пloyчатых текстур и перекристаллизацией вещества. Силикаты при этом приобретают ориентировку. Структуры расслоения в пластах заполнены пегматоидными гранитами.

Метаморфизм. Сложная история развития рудного поля прослеживается и по эндогенным изменениям в железистых кварцитах и вмещающих их породах. На ранних этапах изменений осадочно-вулканогенный комплекс претерпевает гранулитовую степень метаморфизма (900⁰С, табл. 1), что прослеживается по широкому развитию двупироксеновой минеральной ассоциации с шпинелью, оливином, магнетитом в ультрабазитах, основных кристаллосланцах, железистых кварцитах. При этом, на отдельных участках рудного поля (гнейсах) термодинамиче-

ские свойства опускались до условий переходных от гранулитовой до амфиболитовой фаций (минеральные ассоциации пород формировались в условиях между биотит-силлиманит-гранатовой и биотит-кордиерит-гранатовой субфациями). С этапом метаморфизма мы связываем и образование плагиомигматитов.

Таблица 1

Температура формирования минеральных ассоциаций
по Новоукраинскому рудному полю

№ п/п	Минеральная ассоциация	Порода	Температура образования (геотермометр)
1.	Моноклинный пироксен + ромбический пироксен + плагиоклаз + кварц + магнетит + роговая обманка	Метаультрабазит	900°C (двупироксеновый)
2.	Магнетит + кварц + моноклинный пироксен + ромбический пироксен + шпинель	Магнетит-силикатные кварциты	890°C (двупироксеновый)
3.	Гранат + биотит + кварц + кордиерит + графит	Плагиогнейсы	720-750°C (биотит-гранатовый)
4.	Силлиманит + кварц + микроклин + мусковит	Силлиманитовый гнейс	530-690°C (кварц-силлиманит-микроклиновый)
5.	Флогопит + тремолит + серпентин + моноклинный пироксен + скаполит + сфен + ильменит	Карбонатная порода	550-650°C (флогопит-тремолитовый)
6.	Роговая обманка + биотит + микроклин + кварц + плагиоклаз + куммингтонит + мусковит	Плагиогранит	610-720°C (биотит-роговообманковый)
7.	Роговая обманка + биотит + шпинель + апатит + плагиоклаз + магнетит	Вторичные амфиболиты	550-650°C (биотит – роговообманковый)

Примечание. Использована методика расчёта и экспериментальные данные А.А. Вальтера, С.П. Кориковского, Ю.П. Мельника, Л.Л. Перчука, В.И. Фонарёва, В.Г. Яковлева

В дальнейшем (этапы калиевой гранитизации и диафтореза) метаморфические ассоциации минералов сохраняются лишь в виде реликтов и среди остатковых тел в зонах ультраметаморфизма и метасоматических преобразований.

Ультраметаморфизм. На большей части Новоукраинского рудного поля разрез железо-гнейсовой толщи характеризуется интенсивной гринитизацией и преобладанием хрупких деформаций. При флексурных изгибах пластов здесь не происходит резких изменений их мощности и элементов залегания. Зато выражены зоны дробления секущего и согласного залегания, которые контролируют размещение гранитоидного материала и околожильных изменений вмещающих пород. В этих условиях железистые кварциты даже в пределах штуфа, имеют несколько типов текстур – от полосчатых до массивных, деформированы с разрывом сплошности микроскладок, их сплющиванием, брекчированием на крыльях. Сланцеватые текстуры здесь не получают развития, а наложенные минералы не имеют ориентировки. Такое поведение пород при синтектонической гранитизации объясняется невыдержанностью температурного поля при формировании гранитоидных куполов [1-3] и, соответственно, неодинаковой степенью «обезвоживания» пород в начальные стадии ультраметаморфизма. На

участках «обезвоживания» существенно понижались пластичные свойства пород по механизму перекристаллизация-пластическая деформация и соответственно возрастала роль хрупких деформаций.

Ультраметаморфический этап протекал при более низкотемпературных изменениях, которые соответствовали высокотемпературной субфации амфиболитовой фации. Температура калий-натриевой мигматизации (по биотит-роговообманковому термометру) составляла 610-720°C. В железистых кварцитах этот процесс сопровождался привнесением глинозема, щелочей, кальция (щелочно-известковистый метасоматоз сопряженный с мигматизацией) и существенной перестройке их минерального состава, текстур, структур. В зонах базификации (контакт гранитов и железистых кварцитов) возникал парагенезис биотита - роговой обманки, что дает право говорить о существовании температуры в 550-650°C. На участках интенсивной гранитизации и широкого проявления кислотного выщелачивания (северная часть рудного поля) температура составляла 650-720°C (ассоциация кварц-силлиманит-микроклин, с последующим замещением мусковитом калийсодержащих минералов). Изучение парагенезисов в карбонатных породах позволяет отметить, что течение регрессивных изменений происходило в условиях понижения температуры (650-550°C) и нарастанием доли H₂O во флюидах. Метаморфический парагенезис (оливин, пироксены, доломит) замещался амфиболами и слюдами, серпентином. В связи с этим температуру их образования (550°C) мы принимаем за нижнюю границу ультраметаморфических изменений.

Жильные породы гранитоидного облика представлены маломощными (доли-, первые метры-десятки метров) плагиоклаз-микроклинового и микроклинового состава. Вокруг таких тел на Сергеевском месторождении отмечается локальная микроклинизация плагиогнейсов с развитием силлиманита по биотиту, сульфидов, мусковита (по биотиту и микроклину).

Метасоматические изменения. Размещение их продуктов контролировалось локальными разрывными структурами, катаклаза, милонитозации, брекчирования и экранами слабо проницаемых пород. Температура их формирования находилась в пределах 550°C (ассоциация эпидот-хлорит-серицит) и 250°C (хлорит-эпидот-альбитовый парагенезис, появление цеолитов). В карбонатных породах изменения знаменуются развитием флогопита, биотита, актинолита, антофиллита, тремолита, плагиоклаза, скаполита (0-30%), талька, хлорита, серпентина, клиногумита, графита. В железистых кварцитах проявлена амфиболизация (куммингтонит, грюнерит, жедрит, роговая обманка по фаялиту, пироксенам, куммингтониту), развиты также биотит, тетраферрибиотит в ассоциации с микроклином (привнос калия и алюминия). Для железистых кварцитов присуще также вторичное окварцевание (бедные магнетитовые, биотит-магнетит-роговообманковые кварциты) с присутствием микроклина и циркона. При усилении этого процесса магнетит выступает в виде порфиروبластических выделений обрастающих роговой обманкой и биотитом. Следует упомянуть о безрудных кварцитах «отложения» (зоны окварцевания) и штокверках, кварцевых жилах тяготеющих к разрывным нарушениям зон скалывания. Они более обогащены сульфидами и являются поздними по сравнению с кварцитами «выщелачивания».

По гранат-биотитовым гнейсам образуются силлиманит-гранат-биотитовые микроклиновые метасоматиты, связанные с процессом кислотного выщелачивания. В этих метасоматитах появляются сульфиды, крупночешуйчатый графит и мусковит по всем алюмосодержащим силикатам, локально циркон (в виде мелких зерен, насыщающих породу). В случае окварцевания и слабой микроклинизации, силлиманит и мусковит выражены подчиненно. При этом плагиоклаз серицитизируется с выделением мирмекитовых вростков кварца. Последний в крупных шлировых выделениях содержит мелкие зерна микроклина. По другим типам гнейсов, в частности, по амфибол-биотитовым, образуются аналогичные метасоматиты, которые при сильной микроклинизации обогащаются мусковитом и карбонатом. По основным кристаллосланцам вначале развиваются биотит-роговообманковые амфиболиты с серицитизированным плагиоклазом, а на конечной стадии – меланократовые биотит-роговообманково-микроклиновые породы. Завершением этого изменения являются микроклиновые породы с биотитом.

Метасоматиты кислотного выщелачивания и базификации (скарнирования) пространственно сопряжены. Сюда следует отнести белые и светло-серые кварциты (до 100% кварца), среди которых отмечаются разновидности с пироксеном, биотитом, амфиболом, кордиеритом, силлиманитом и др, что подчеркивает образование их по различным породам. При микроклинизации кварциты переходят в кварц-микроклиновые породы, а затем в микроклиниты с незначительным количеством мусковита. При развитии метасоматических кварцитов по алюмосиликатным породам переходной разностью выступают полевошпатовые кварциты с апатитом и кварц-микроклин-силлиманитовые породы, где силлиманит образует линзовидные скопления и нодули.

Вторичные «амфиболиты» по составу подразделяются на роговообманково-биотитовые и биотитовые, имеют крупнозернистый облик, обогащены сульфидами. Здесь роговая обманка сине-зеленая, биотит темно-зеленый (в отличие от коричнево-красного в метасоматитах, отмеченных выше), а их выделения изобилуют включениями циркона, микроклина и апатита.

Низкотемпературные гидротермально измененные породы (табл. 2) можно подразделить на две группы. Одна из них носит площадной характер. Развитие поздних минералов здесь приурочено к участкам без существенного катаклаза метаморфических пород (гнейсы, граниты). Вторая группа метасоматитов тяготеет к милонитизированным и катаклазированным породам.

Преимущественное развитие на рудном поле получают породы, сохраняющие свой облик, но темноцветные минералы в них замещены хлоритом, а полевые шпаты – серицитом и мусковитом. Метасоматиты разломных зон отличаются развитием хлорит-альбитовых с кварцем и микроклином, а также хлорит-микроклиновых образований с альбитом. В эту группу следует отнести хлорит-эпидот-кварцевые метасоматиты, которые являются более поздними. В этой группе можно выделить три крайние разновидности, связанные постепенными переходами между собой (эпидотовые, хлоритовые, кварцевые).

Таблица 2

Минеральный состав метасоматических пород, сопряжённых с
редкометалльным оруденением, и отношение урана к торию

№ п/п	Порода	Содержание минералов, %							Рудные минералы	Отно- шение U:Th
		Кварц	Плаги- оклаз	Био- тит	Муско- вит	Кар- бонат	Хло- рит	Глауко- фан		
1.	Окварцо- ванный плагио- гранит	58	36	до 4	до 2	до 1	ед. зерна	-	Тр, Мл, Пт, Мо, УЧ	0,488
2.	Окварцо- ванный плагио- гранит	65	24 + ед. зерна микро- клина	6	серицит до 1	ед. зерна	ед. зерна	-	Лк, Гм, UO _n , Пт (до 2%), цирто- лит,	2,672
3.	Микро- клиновый гранит	25	25 + микро- клин 47	до 3	-	-	-	-	Пт, Ур, УЧ, Мо, Ну, Кл	14,340
4.	Пегмато- идный гранит	43	до 7 + микро- клин 49	ед. зерна	до 3	до 3		-	Пт, Ур, УЧ, Мо	16,240
5.	Плагио- гранит	24	36	38	ед. зерна	ед. зерна	ед. зерна	-	Ап, Мл, Мц, Тр, фосфоторит,	0,019
6.	Метасома- титы хло- рит- кварцевые	48	-	-	-	-	37	-	Мг (до 10%), Ап, Пт, Лк, УЧ, гид- роокислы Fe, це- олиты (до 4%),	5,070
7.	Метасома- титы хло- рит- кварцевые	50	-	-	-	-	46	до 3,0	Пт, Лк, Ап, УЧ, Ур, реликты ам- фиболов, пирок- сена	118,000
8.	Метасома- титы кварцевые	88	-	-	-	до 0,25	до 9,0		Пт, Лк, Гм, УЧ, Ур	13,100
9.	Хлоритит	ед. зерна	-	-	-	-	97	-	Гм, Лк, Пт, УЧ, гидроокислы Fe, урансодержащая органика,	165,000
10.	Альбититы	13	75 + микро- клин до 12	релик- ты	Серицит по аль- биту	-	11	-	Лк, Пт, Мг, Ап, гидроокислы Fe, радиоактивный сфен	-
11.	Биотит- плагиок- лаз- кварцевая	66	24 + микро- клин до 2	7	ед. зерна	-	ед. зерна	-	Гм, Пт, Лк, UO _n , Ур, Ап, УЧ, цир- кон, циртолит, ортит, ксенотим	2,670

Примечание. Символы минералов: Тр – торит, Пт – пирит, Мо – молибденит, УЧ – урановая чернь, Ур – уранинит, Ну – настуран, Лк – лейкоксен, UO_n – окислы урана, Ап – апатит, Мц – монацит, Мл – малакон, Мг – магнетит, Гм – гематит, Кл – каолинит.

С увеличением содержания кварца, в первых двух породах, они переходят в кварциты с хлоритом, эпидотом и гидроокислами железа. Хлоритовые и эпидотовые метасоматиты часто содержат магнетит, гидроокислы железа, характеризуются отсутствием ориентировки минералов и приуроченностью к зонам катаклаза. Первичные (метаморфические) минералы в них полностью замещены. В хлоритовых метасоматитах среди железистых кварцитов хлорит выступает в качестве цемента раздробленных агрегатов и зерен магнетита. Поздними минералами в них являются кварц и карбонаты, которые образуют тонкие жилки секущего и послойного характера. Зерна магнетита в хлоритовой массе мартитизированы. На участках интенсивной тектонической проработки кварцитов возникают богатые хлорит-магнетитовые руды, эпидот-хлоритовые руды с мартитом, гидроокислами железа, сульфидами, карбонатами, тремолитом, серпентином.

Дополним, что в магнетит-хлоритовых метасоматитах содержание минералов крайне изменчиво, а порой увеличится содержание гематита и гидроокислов железа: магнетит – 5-40%, хлорит – 3-92%, гематит – 0-10%, кварц – 8-73%, карбонат – единичные зерна - 6%, гидроокислы железа – до 10%, сульфиды – до 4%, цеолиты – до 4%, глаукофан – до 3%, органика – до 2%, апатит – до 2%, лейкоксен – до 2%. Карбонаты и цеолиты являются наиболее поздними и выполняют тонкие трещины.

Другой минеральной ассоциацией в железистых кварцитах являются тетраферрибиотит, микроклин, пирит, мартит. Тетраферрибиотит развивается по магнетиту, биотиту и другим силикатам.

Геохимические особенности. По характеру минеральных преобразований на Новоукраинском рудном поле процесс метасоматоза можно подразделить на три группы: кислотный, основной и щелочной. Кислотная фация отмечается замещением пород содержащих слабые и сильные основания (окиси железа, магния, кальция) и привнесом (накоплением) кислотных компонентов: кремния, алюминия. Основная фация характеризуется накоплением железа, магния, кальция, а щелочная – калия и натрия. Выделенные группы отличаются широким интервалом температур образования, что видно по минеральным ассоциациям (микроклин-кварцевая, микроклин-силлиманитовая, кордиерит-силлиманит-кварцевая, скаполитовая, биотитовая, флогопитовая, альбитовая, хлоритовая, эпидотовая, эпидот-альбитовая, хлорит-альбитовая, глаукофановая, цеолитовая). Термодинамические условия проявления метасоматоза сопряжены с изменением тектонических условий, что выражается переходом от пликтивных и пликтивно-дизъюнктивных деформациям через зоны милонитизации, перекристаллизации, вторичного расщепления к зонам брекчирования и катаклаза. В направлении повышения жесткости субстрата сменяется и механизм развития метасоматических процессов – от метаморфической дифференциации, биметасоматоза на контакте разнородных сред (пород) к инфильтрационному метасоматозу. Среди рассмотренных типов метасоматитов продуктивная минерализация тяготеет к изменениям в гранитоидах: окварцевание, альбитизация, формирование биотит-плагиоклаз-кварцевых пород с пиритом, гематитом, лейкоксом, окислами урана, цирконом (циртолитом), уранинитом. Радиоактивность пород большей частью обусловлена наличием уранинита, урановой черни, циртолита, сорбированного урана на сульфидах. Величина отношения урана к торию в таких породах находится в пределах 1,75-2,80.

Наряду с описанным типом оруденения выражены метасоматиты с ассоциацией: кварц, микроклин, мусковит, пирит, молибденит, галенит, торит, малакон, уранинит, урановая чернь, настуран. Отношение содержания урана к торию составляет 4,72-14,93. Следует отметить и другую минеральную ассоциацию: кварц, плагиоклаз, биотит (темно-коричневый), фосфоторит, апатит, малакон, монацит, антипертитовый микроклин, торит. Собственные минералы урана не обнаружены. Для этих метасоматитов отношение урана к торию весьма низкое – 0,017-0,018. Хлоритовые метасоматиты характеризуются ассоциацией: кварц, гематит, гидроокислы железа, сульфиды, карбонаты, лейкоксен, уранинит, апатит и урановая чернь. При этом их можно подразделить на разности с глаукофаном и цеолитами. Отношение U:Th в них составляет 110-396.

Изучение элементов в рудных выделениях и неизмененных метаморфических породах и их гранитизированных и диафторированных разностях показало:

1 – устойчивые параметры распределения элементов (Ti, Ba, Zr, Pb, Zn, Ga, V, Cr, Ni, Cu, Co, Mo, U) в неизмененных породах, при одномодальном характере гистограмм распределения;

2 – измененные (диафторированные) породы имеют бимодальное распределение элементов, высокие их коэффициенты вариации, в особенности элементов группы железа, Mo, U;

3 – гранитизированные разности пород имеют пониженный уровень элементов и бимодальное распределение ряда элементов Ti, Ba, а группы железа – полимодальное;

4 – при окварцевании наблюдается резкое снижение уровня содержания элементов, за исключением Zr, Ga, Ti.

Приведенные данные позволяют отметить, что метаморфизованные породы характеризуются одномодальным характером гистограмм и логнормальным распределением химических элементов. По мере изменения пород происходит усложнение гистограмм (полимодальные распределения элементов). В крайне измененных, разностях пород, вплоть до крайних разностей (граниты, микроклиниты, диафториты), гистограммы становятся одномодальными, приобретая асимметрию на участках привноса-выноса. Здесь средние содержания элементов (Mo, U, Sn, Pb, Ag, Te, Zn, Ba, P, V, As) существенно отличаются от исходных пород. Однако геохимический фон по всему рудному полю невыдержан. Так, барий имеет тенденцию к увеличению на Новоукраинском и Павловском месторождениях, Zr, Ag - в восточном крыле Новоукраинского месторождения, As – в его западном крыле, Y, Mo – на Сергеевском месторождении, Y, Sc, Ce – в западном крыле Новоукраинского месторождения, Zn – в Новоукраинском месторождении. Содержание некоторых элементов в смешанных и тяжелых фракциях и минералах приведено в табл. 3.

Изучением ЭПР кварца выявлены Na, Li и Al-O⁻ - центры. В биотите и амфиболах отмечается повышенное содержание V (до 0,02%), Ni (до 0,02%), Zn (0,007%), в роговой обманке - Sn (до 0,0007%), Yb (0,0002%). Фосфор концентрируется в основном в апатите, но по уровню содержания довольно стабилен в биотите метасоматических зон (до 0,2%), амфиболах (0,05-0,07%). Кроме того в кварцах измененных кварцитов обнаружено серебро (0,00003%).

Таблица 3

Содержание элементов в смешанных и тяжёлых фракциях минералов, кварце и ортите редкометалльного оруденения (вес. %)

Элемент	Состав пробы					
	1	2	3	4	5	6
Be	-	-	-	-	0,0003	-
Mg	-	1,00-4,00	-	-	0,52	1,20-4,00
Al	-	0,3-10,0	+	+	6,26	3,00-10,00
Si	-	5,00-15,00			29,50	0,00-15,00
P	-	-	-	-	0,1	-
Ca	-	0,03-6,00	-	0,0003-0,009	11,28	0,03-6,20
Sc	0,001-0,002	-	+	+	0,038	0
Ti	0,05-0,07	0,06-0,30	-	-	0,28	0,07-0,40
V	-	0,003	+	-	-	0,003-0,008
Cr	-	0,003-0,06	0,0011-0,002	-	-	-
Mn	-	0,04-0,15	+	-	0,31	0,004-0,17
Fe	-	0,0-8,00	-	-	5,95	0,00-4,0
Co	-		+	-	-	-
Ni	-	0,006-0,05	+	+	-	0,008-0,03
Cu	-	-	+	+	-	
Zn	0,01-0,03	0,005-0,008	0,002	-	-	0,005-0,009
Ga	0,0003-0,0005	-	+	-	0,0009	-
Ge	0,00015-0,0003	-	-	-	-	-
As	0,007-0,015	-			-	-
Sr	-	0,001-0,20	-	-	-	0,12-0,20
Y	0,001-0,002	0,003-0,02	-	-	0,16	0,004-0,02
Zr	0,007-0,10	0,002-0,10	-	+	-	0,12-0,18
Nb	0,001-0,002	-	+	+	-	-
Mo	0,0001-0,0003	0,0001-0,003	-	0,0005	0,0001	0,02-0,18
Sn	0,0005-0,0007	0,0003-0,0006	-	-	-	0,0004-0,0008
Ba	0,03-0,06	0,001-0,15	0,02-0,1	-	0,065	0,06-0,16
La	0,001-0,003	-	+	0,003	3,19	-
Ta	-	-	-	-	-	-
Pb	-	0,002-0,006	-	+	0,16	0,005-0,08
Bi	0,005-0,007	-		-	-	-
Ce	-	-	0,0001	-	3,34	-
Yb	0,0002-0,0003	0,003-0,004	-	-	0,0006	0,002-0,004
Th	+	+	-	-	5,25	+
U	+	+	-	-	-	+

Примечание. Состав пробы: 1 – из зон редкометалльного оруденения, сопряжённых с пегматоидными гранитами; 2 – смешанная фракция минералов (лёгкая и тяжёлая) из зоны редкометалльного оруденения; 3 – кварц из измененных железистых кварцитов; 4 – кварц из измененных гнейсов и мигматитов; 5 – ортит из зоны редкометалльного оруденения; 6 – тяжёлая фракция минералов зоны редкометалльного оруденения. Знак «+» – элементы обнаружены, прочерк – элементы не обнаружены.

Выводы. Рассмотренные детали геологического строения рудного поля и характера редкометалльного оруденения, минеральных ассоциаций позволяет отметить такие особенности. На Новоукраинском рудном поле четко выделя-

ются метаморфический (гранулитовая фация метаморфизма), ультраметаморфический и метасоматический этапы развития. Начальные стадии каждого этапа характеризуются восстановительными условиями, заключительные – окислительными. Данное положение подтверждается переходом железа в силикатное, карбонатное состояние, а затем в окисные соединения. Аналогичное положение прослеживается в поведении урана при формировании редкометального оруденения (малакон, циртолит-уранинит-урановая чернь).

Размещение редкометального оруденения контролируется зоной тектонической проработки пород длительного развития, что прослеживается фрагментированием складчатой структуры железорудного поля на блоки, различной глубиной залегания шарнира складки в блоках, по развитию бластомилонитов, бластокатаклазитов, милонитов, катаклазитов и зон брекчирования (этап динамического метаморфизма).

Этапы регионального метаморфизма и образования плагиогранитов, а затем ультраметаморфизма на рудном поле сменились дислокационным метаморфизмом (бластомилониты, бластокатаклазиты, перекристаллизация) отвечающий на ранних стадиях альмандин-афиболитовой фации, а на поздних стадиях характеризовался катаклазитами и милонитами зеленосланцевой фации.

Постметаморфическая тектоническая активизация совпадала во времени с образованием гранитов и мигматитов калиевого профиля. Завершением этого этапа являлось образование пегматоидных гранитов.

Плагиогранитизация сопровождалась привносом кремния, натрия, фосфора и выносом железа, магния, кальция, хрома, никеля, кобальта, ванадия, титана, циркония, рубидия. В ультраметаморфический этап развития рудного поля происходит резкая дифференциация элементов. Выражается это в привносе калия, рубидия, лития, свинца, урана, тория, циркония, олова, молибдена, редких земель. При этом продукты позднего ультраметаморфизма, хотя и локально, обладают более повышенной фоновой ураноносностью (ториеносностью) при наблюдающемся дефиците радиоактивной примеси во вмещающих породах.

Прогрессивный метаморфизм и ранние стадии ультраметаморфизма не приводят к формированию редкометального оруденения и, по сути, являются геологической средой рудоподготовительного характера. Причина тому относительная выдержанность термодинамических условий на значительной территории рудного поля. Такая обстановка не способствовала проявлению контрастности в РТХ условиях и движению рудоносных растворов в сферу рудоотложения.

На ранних стадиях регрессивных изменений пород геологического разреза радиоактивные элементы в основном концентрировались в ильмените, рутиле, сфене, апатите, циртолите или адсорбировались на графите. На заключительных стадиях развития рудного поля диафорические изменения происходили в условиях более открытой физико-химической системы и свободного поступления газовой-жидких растворов глубинного характера. В этой обстановке получили выраженность рудные окислы и их концентрация, что сказалось на увеличении урана и соотношения содержания урана к тории в рудах.

Судя по минеральным ассоциациям, редкометальное оруденение формировалось в несколько стадий. С завершающей стадией связано образование це-

олитов, каолинита, сульфидов и карбонатов. Хлоритовые метасоматиты возникают после продуктов кислотного выщелачивания. По минеральным ассоциациям и содержанию U, Th, на данном этапе изучения оруденения можно выделить три типа руд – ториевые, торий-урановые и урановые, с выделением подтипов по содержанию Pb, Mo и формам нахождения U. Оруденение, связанное с хлоритовыми метасоматитами, имеет комплексный характер (содержит магнетит, гематит в промышленных концентрациях, вплоть до богатых руд). Для редкометального оруденения на ранней стадии характерно преобладание редкоземельных элементов цериевой группы, на поздней – иттриевой группы. При образовании рудосопровождающих хлоритовых метасоматитов не наблюдалось высокой активности серы, что сближает их с ураноносными метасоматитами гидрослюдизитовой формации. Однако их следует отнести к самостоятельной фации серицит-хлоритовой формации метасоматитов.

Метасоматиты, как правило, имеют локальное развитие, невыдержанны по падению и простиранию. При этом продуктивная стадия редкометального оруденения связана с завершающей стадией рудообразования (ассоциации с карбонатами, цеолитами, каолинитом) и контролируется зонами тонкой трещиноватости наложенных на метасоматиты ранних стадий. Таким образом урановую минерализацию следует отнести к сопряженному типу по отношению к метасоматитам. Последние является поисковым критерием редкометального и благороднометального оруденений, элементом корреляции геологических разрезов при оконтуривании оруденения.

Список литературы

1. Коваль В.Б. О роли метаморфизма в формировании раннепротерозойских урановых месторождений // Процессы и закономерности метаморфогенного рудообразования. – К.: Наук. Думка, 1998. – С. 91-94.
2. Коваль В.Б. Сопряженность эндогенных и экзогенных процессов при формировании железисто-кремнистых формаций. Киев. Наук. думка. 1992, с. 189-192.
3. Перспективы выявления богатых комплексных урановых руд / В.Б. Коваль, А.Х. Баркажиев, О.Ф. Макивчук, В.Ф. Лапуста //Сб. наук. праць ІГНС НАН та МНС України. – Вип. 8. – 2003. - С. 24-27.
4. Кушев В.Г. Щелочные метасоматиты докембрия // Труды конференции по околорудному метасоматозу. – М.: «Недра», 1977. – 189 с.
5. Лавриненко Л.Ф. Некоторые закономерности в распределении редкометального оруденения в зонах метасоматоза верхнепротерозойских гранитоидов Приазовья // Тез. докл. Второй геол. конф. «Степановские чтения». – Артемовск, 1968. – С. 119 – 120.
6. Литовченко Е.И. Гранитоидные пегматиты Западного Приазовья. – К.: Наук. Думка, 1976. – 130 с.
7. Семененко Н.П., Бойко В.Л., Ладиева В.Д. Метасоматические пояса и типы процессов метасоматоза в гранит-мигматитовых формациях Среднего Приднепровья // Геохимия и рудообразование. – 1976. – №5. – С. 3-9.
8. Волков А.Г., Каталенец А.И. Приазовская металлогеническая область // Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Структуры месторождений и рудных полей / Под. ред. Я.Н. Белевцева. – К. Наук. Думка, 1989. – С. 32-34.

*Рекомендовано до публікації д.г.н. Приходченком В.Ф.
Надійшла до редакції 19.05.09*

К ФАУНИСТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ МАЛИНОВСКОЙ СВИТЫ (СРЕДНИЙ ЭОЦЕН) КРИВОРОЖСКОГО БАССЕЙНА

Приводится видовой состав и стратиграфическое распространение двустворчатых моллюсков, обнаруженных в среднеэоценовых отложениях малиновской свиты карьера Ингулецкого ГОКа (г. Ингулец). На основании всестороннего анализа фауны делается вывод о лютетском возрасте пород малиновской свиты.

Наводиться видовой склад і стратиграфічне розповсюдження двостулкових молюсків, знайдених у середньеоценових відкладеннях малинівської світи кар'єру Інгулецького ГЗК (м. Інгулець). На підставі всебічного аналізу фауни робиться висновок про лютетський вік порід малинівської світи.

Specific composition over and stratigraphic distribution of the bivalves discovered in Middle-Eocene deposits malynovskoy suite of the Ingulets MCF quarry (t. Ingulets) is brought. On the basis of comprehensive analysis of fauna conclusion is drawn about lutet age of breeds of malynovskoy suite.

Вступление. Палеогеновые отложения Кривбасса разделяются на ряд литологических толщ, обособляемых в свиты [1, 2]. В этом регионе в некоторых местах над углистыми осадками (рахмановская свита) залегает толща серых песчано-глинистых пород малиновской свиты, характерной особенностью которой является присутствие в составе значительного количества мелкодисперсного углистого вещества, из-за чего господствующим цветом пород является серый. Вышележащие слои не содержат в таких количествах углистого вещества и поэтому окрашены не в серые, а зеленоватые цвета.

Впервые подобные отложения были обнаружены при разведке Высокопольского бокситового месторождения и выделены М.Н. Ключниковым [3] и И.А. Коробковым [4] в качестве морских отложений бучакской свиты южной Украины. В дальнейшем они были отнесены М.Ф. Носовским [5] к симферопольскому ярусу.

В настоящее время породы малиновской свиты обнаружены в Криворожской, Базавлукской депрессиях, в районе Высокопольского бокситового месторождения, в бассейне р. Ингул и в других местах южного склона Украинского щита. Они встречаются в виде отдельных изолированных тел в наиболее пониженных участках кровли углистых отложений.

Осадки малиновской свиты залегают на углистых среднеэоценовых песчано-глинистых породах и перекрываются терригенными или карбонатными отложениями, которые обычно относят к киевскому региоярусу (или новопавловскому).

Цель исследования – выявление видового состава двустворчатых моллюсков отложений малиновской свиты, вскрытых в западном борту карьера Ингулецкого горно-обогатительного комбината (ИнГБК, г. Ингулец), и определение геологического возраста рассматриваемых отложений на основании стратиграфического распространения обнаруженных видов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучался характер напластования отложений малиновской свиты в карьере ИнГОКа и по разрезам скважин.

2. Производился послойный отбор фауны и её видовое определение.

3. Выявлялся стратиграфический диапазон обнаруженных видов, и на этом основании устанавливался геологический возраст рассматриваемых осадков.

Изложение основного материала. В Криворожском бассейне малиновская свита состоит из разнообразных песчано-глинистых пород зеленовато-серого, светло-серого или темно-серого цвета. Породы свиты по латерали представляют собой ряд, начинающийся типичными глинами, переходящими через отложения смешанного состава к сыпучим пескам. Среди включений встречаются обуглившиеся растительные остатки, линзы и прослои вторичного каолина. Максимальная зафиксированная мощность этих отложений составляет 8,3 м (скважина 8583). Контакт, как с выше-, так и с нижележащими отложениями эрозионный, иногда выражен прослоем галечника.

На дневную поверхность рассматриваемые отложения выходят только в западном борту карьера Ингулецкого ГОКа. Характер напластования осадков свиты можно проследить в обнажении 1, являющимся стратотипом этой свиты.

В обнажении 1 (рис. 1) палеогеновые отложения залегают на первичных каолинах и сложены следующими слоями (снизу - вверх):

1. Конгломерат бурожеlezняковый, скреплен глинистой, углистой массой черного или темно-серого цвета. Мощность около 0,1 м. Залегает на первичной каолиновой коре выветривания. В этом слое изредка попадаются обуглившиеся куски древесины длиной до 20 см. Древесина густо пронизана ходами, образовавшимися за счет сверления морских моллюсков-древоточцев.

2. Галечно-валунная бурожеlezняковая толща. Внизу – галечник, сверху – валуны, диаметром до 0,5 м. Мощность 0,5-0,8 м.

3. Алевритово-глинистая углистая рыхлая порода черного (влажная), серо-коричневого (сухая) цвета с большим количеством целых и обломанных раковин моллюсков, брахиопод, кораллов, иголок морских ежей, зубов акул. Мощность до 1,5 м.

4. Пески глинистые зеленовато-серые. Мощность около 0,07 м.

5. Глины углистые плотные, однородные. Мощность около 0,1 м.

6. Пески глинистые, гравийные, зелено-серые. Слой делится на две части: нижнюю (1,5 м) – серовато-зеленого цвета, песчаную и верхнюю (2,1 м) – серую с едва заметным зеленым оттенком, алевритистую. Фауна сохранилась в основном только в виде обломков. Толща постепенно переходит в вышележащий слой.

7. Конгломерат бурожеlezняковый, глинисто-песчаный. К кровле диаметр галек постепенно увеличивается до 3 см, редко попадаются гальки, поперечник которых достигает 6 см. Часто встречаются целые раковины одномускульных двустворчатых моллюсков. Глинисто-песчаная составляющая слоя аналогична таковой в слое 6. Мощность около 0,1 м.

8. Глинисто-песчаная порода с гравием серовато-зеленого цвета. Большое количество крупных хрупких устриц. Мощность около 3,2 м. В кровле слой обогащается гравием и постепенно переходит в слой 9.

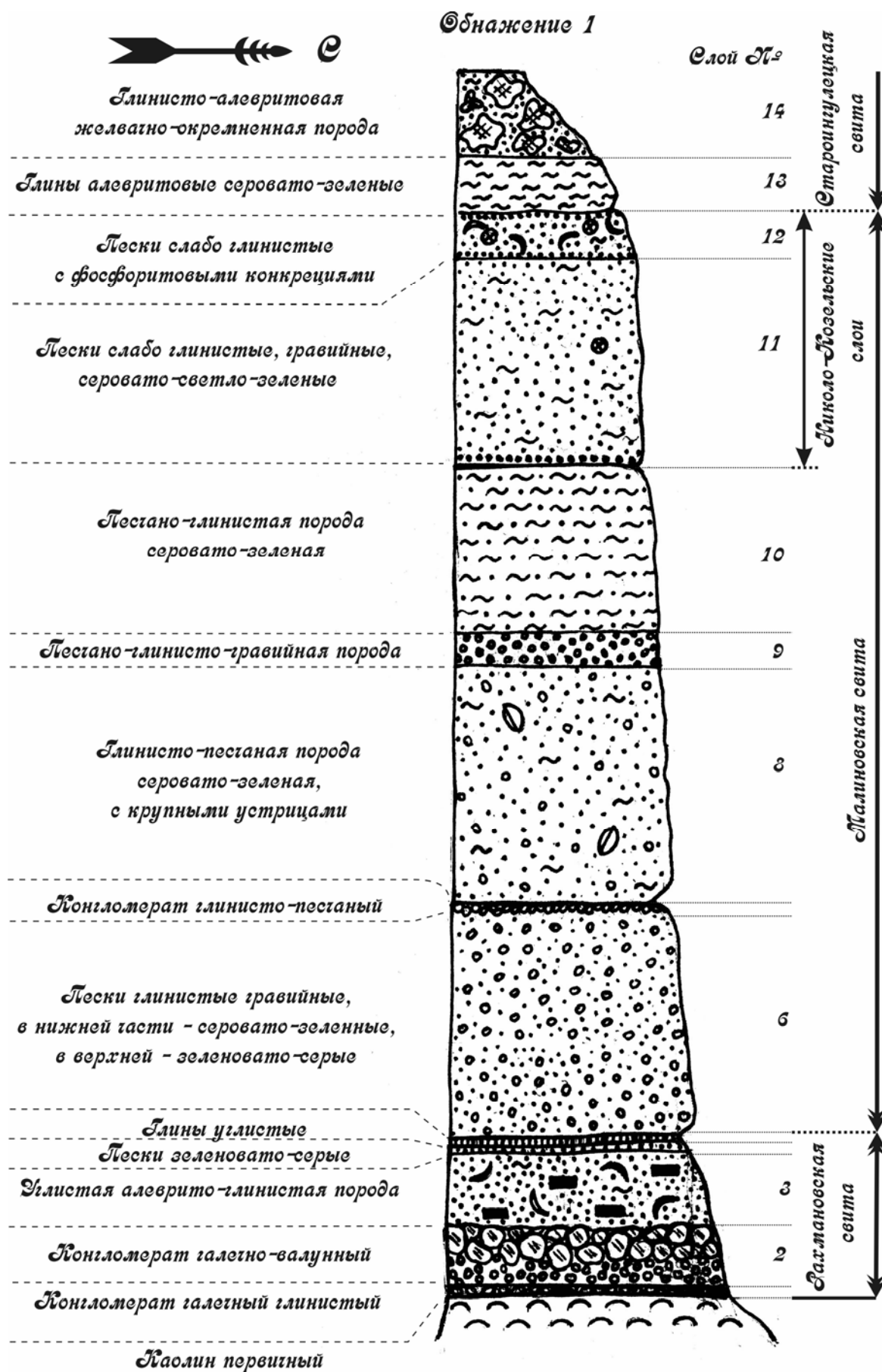


Рис. 1. Литологическое строение отложений малиновской свиты в стратотипическом разрезе западного борта карьера Ингулецкого горно-обогатительного комбината (г. Ингулец)

9. Песчано-глинисто-гравийная порода зеленого цвета. Мощность до 0,5 м.

10. Песчано-глинистая порода серовато-зеленого цвета с гравием. К кровле гравий постепенно исчезает. Большое количество полуразрушенных раковин моллюсков и кораллов. Мощность около 3,0 м.

11. Пески слабоглинистые серовато-светло-зеленые, гравийные. В подошве – гравийный слой мощностью около 2 см. В кровле (0,4 м) наблюдается обогащение ископаемой фауны. Мощность около 3 м. Контакт с вышележащим слоем постепенный.

12. Пески глинистые, слабо сыпучие, с гравием и фосфоритовыми конкрециями, серовато-зеленые, переполненные ископаемой фауной. В кровле – несколько гравийных слоев. Мощность около 0,6 м. Верхняя граница резкая, эрозионная.

13. Глины алевроитовые, серовато-зеленые. Мощность 1-2 м.

Слои 1-5 принадлежат рахмановской свите Кривбасса, слои 6-12 – малиновской свите, слой 13 – староингулецкой. Комплекс бивальвий, обнаруженных в нижней части (слои 6 и 7) малиновской свиты, показан в таблице 1. Двусторчатые моллюски верхней части свиты (слои 11 и 12) более многочисленны и разнообразны и в данной статье не затрагиваются.

Из осадков малиновской свиты карьера ИнГОКа (г. Ингулец) точно определено 46 видов. В малиновской свите имеется 25 видов, которые отсутствуют в рахмановском комплексе, т.е. около 54% видов комплекса являются «новыми». Число эндемиков в этом комплексе – 24. Общих видов с бучакским комплексом – 11, с мандриковским комплексом – 13. Из 22-х видов, которые встречаются в эоценовых отложениях Западной Европы, в нижнеэоценовое время существовало 6 (типично нижнеэоценовых видов нет), в среднеэоценовое время обитало 16 таксонов (типично среднеэоценовых – 9 видов), в верхнем эоцене существовало 10 видов (типично верхнеэоценовых – 5). Разница между среднеэоценовым и верхнеэоценовым сообществами в этом комплексе незначительна, но эти данные получены на основании распределения видов в стратонах Западной Европы. Если учитывать распространение видов не только в Западной Европе, но и на территории Украины, то все западноевропейские виды малиновского комплекса (22 вида) встречены в бесспорно среднеэоценовых отложениях в осадках бучакского и киевского регионов и в их эквивалентах. Таким образом, малиновская свита, несомненно, среднеэоценовая. Типично лютетских видов эта свита содержит 7, типично бартонских – 1. Учитывая эти данные и то, что выше залегающие породы содержат, бесспорно, лютетский комплекс бивальвий, малиновская свита коррелируется с лютетским ярусом «Общей стратиграфической шкалы». Возраст свиты подтверждает и анализ нанопланктона. Здесь обнаружена нанопланктонная зона NP 15 [6], которая характеризует исключительно лютетские отложения.

В районе Высокопольского бокситового месторождения отложения малиновской свиты содержат ряд моллюсков, не встречающихся в карьере ИнГОКа [4]. Это *Cavilucina sulcata* (Lamarck), *Meretrix? triquetrorotunda* (Korob.), *Limopsis granulata* Lamarck, *Sphenia cuniocorbulooides* Korobkov, несколько видов *Marcia* и *Trinacria*.

Таблица 1

**Бивальвии отложений малиновской свиты (слои 6 и 7)
западного борта карьера ИнГОКа (г. Ингулец)**

№	Виды	Эн	Подотделы				Б	М	Яруса				
			НЭ	СЭ	ВЭ	НО			I	Lu	B	Pr	Ru
1	<i>Arca sandbergeri crassisiria Koenen</i>				x		•					x	
2	<i>Barbatia insignis (Deshayes)</i>			x						x			
3	<i>B. scabrosa (Nyst)</i>			x	x			•		x	x	x	
4	<i>B. appendiculata (Sowerby)</i>			x			•			x	x		
5	<i>Acar lamellosa (Deshayes)</i>		x	x	x			•	x	x	x	x	
6	<i>Arcopsis pretiosa diktyon Berezovsky, nomen event.</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	<i>Nucula aff. rugulosa Koenen</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	<i>Glycymeris tenuisulcata (Koenen)</i>				x			•				x	
9	<i>Crassatella ponderosa Gmelin</i>		x	x			•		x	x	x		
10	<i>C. parisiensis Orbigny illustris Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	<i>C. compressa Lamarck</i>			x			•			x			
12	<i>C. lamellasa Lamk. remissa Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	
13	<i>Crassatina semicostata Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	<i>C. filum Berezovsky, nomen event.</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	<i>Venericardia inexplorata (Korobkov)</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	<i>Cardita aspera Lamarck</i>			x				•		x			
17	<i>C. tercostata Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	<i>Glans vepresta Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	<i>Plagiocardium aff. infimum (Vincent)</i>	-	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-
20	<i>Vepricardium denticostata (Berezovsky)</i>	•	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-	-
21	<i>Nemocardium bifidocostum Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	<i>Miocardiopsis pseudocarinata Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	•	-	-	-	-	-
23	<i>Dosiniopsis? fererofilum Berezovsky, nomen event.</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	<i>Pitar sokolowi (Slodkevich)</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	<i>P. parisiensis (Desh.)</i>			x						x			
26	<i>P. sulcataria (Desh.) perscита Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	<i>Callista filumcostata Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	<i>Tellina perscита Berezovsky nomen event.</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	<i>T. conspicia Koenen partirasila nomen event.</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	<i>T. longiuscula Beyrich</i>				x			•				x	
31	<i>Corbula subaequicalvis Sandberger</i>		-		x	-	-	•	-	-	-	x	-
32	<i>Solena limusafilum Berezovsky, nomen event.</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	<i>Spondylus tenuispinus Sandberger</i>		-		x	x	•	•	-	-	-	x	x
34	<i>S. filustriatus Berezovsky, nomen event.</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	<i>Anomia planulata Deshayes</i>		x	x	x	-	-	•	x	x	x	-	-
36	<i>Vulsella obliqua Koenen</i>		-		x	-	•	•	-	-	-	x	-
37	<i>V. acrisa Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	<i>V. anomala Deshayes</i>			x						x			
39	<i>V. turgeo Berezovsky</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	<i>Chalmasia squalensis (Makarenko)</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	<i>Pycnodonte gigantea (Solander)</i>		x	x	x	x	•	•	x	x	x	x	x
42	<i>Ingulea vialovi Makarenko, Bielokrys</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
43	<i>Gari lamarcki (Deshayes)</i>			x						x			
44	<i>Panopea intermedia (Sowerby)</i>		x	x			•		x	x	x		
45	<i>Lentipecten corneus (Sowerby)</i>		x	x	x	x	•	•	x	x	x	x	x
46	<i>Chlamys biarrizensis (Archiac)</i>			x							x		
47	<i>Ch. subtripartita (Archiac)</i>			x						x			
48	<i>Ch. scala Berezovsky, nomen event.</i>	•	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание. Эн – эндемики, НЭ, СЭ, ВЭ, НО – ниже-, средне-, верхнезоценовый подотделы эоцена и олигоцена; Б – бучакская свита, М – мандриковские слои, I – ипр, Lu – лютет, В – бартон, Pr – приабон, Ru – рюпель; •, x – значки присутствия.

Комплекс обнаруженных видов малиновской свиты имеет следующие отличия от рахмановского комплекса бивальвий, обнаруженного в нижележащих отложениях. Впервые появляются виды *Barbatia appendiculata* (Sowerby), *Glycymeris tenuisulcata* (Koenen), *Crassatella parisiensis Orbigny illustris Berezovsky*, *Crassatella lamellasa Lamarck remissa Berezovsky*, *Cardita tercostata Berezovsky*, *Pitar sulcataria (Desh.) perscita Berezovsky*, *Corbula subaequicalvis Sandberger*, *Solena limusafilum Berezovsky*, *Anomia planulata Deshayes*, *Ostrea vialovi Makarenko*, *Bielokrys*, *Chalmasia squalensis (Makarenko)*, *Dosiniopsis? fererofilum Berezovsky, nomen event.*, представители рода *Tellina*.

Многолетнее изучение моллюсков палеогена Криворожского бассейна позволяет с достаточной долей уверенности утверждать, что ряд видов, а в частности: *Chlamys scala Berezovsky, nomen event.*, *Miocardiopsis loustau (Cossmann)*, *Callista filumcostata Berezovsky* и *Crassatella compressa Lamarck*, *Crassatina filum Berezovsky, nomen event.*, характерны только для осадков малиновской свиты.

Для глинистых фаций малиновской свиты, как правило, характерно массовое развитие крупных башенковидных гастропод *Turritella imbricataria Lamarck* и крупных кардиумов с широкими и плоскими радиальными ребрами, несущими в своих узких промежутках тонкие поперечные перемычки. По данным И.А. Коробкова [4], в глинистых породах этой свиты встречаются также *Limopsis granulata Lamk.*, *Cardium porulosum (Sol.)*, *Pitar triquetrorotunda Korob.*, *Sphenia cunicorbuloides Korob.*, несколько видов люцинид, маркий, тхракий и ряд видов, встречающихся также и в песчаных фациях.

Помимо бивальвий и гастропод в породах малиновской свиты в карьере ИнГОКа мной обнаружены нуммулиты (*Nummulites variolarius Lamarck*) и кораллы.

Ниже приводится описание двух новых видов *Chlamys* и *Crassatina*, встречающихся исключительно в отложениях нижней части малиновской свиты (слои 6 и 7), которые могут быть использованы для идентификации пород этой свиты в случае их незначительного литологического отличия от подстилающих и перекрывающих отложений других стратонов.

Chlamys (Chlamys) scala Berezovsky sp. nov. (рис. 2).

Название вида – произвольное сочетание букв.

Голотип – экземпляр № И-300/1, правая створка, геологический музей Криворожского технического университета; карьер ИнГОК, г. Ингулец, Днепропетровская обл., Украина; средний эоцен.

Описание. Створка высотой около 24 мм, с прямыми задним и передним краями. Высота треугольной части створки занимает около 38% общей высоты. Апикальный угол равен 96°. Наружная поверхность покрыта 30 отчетливыми, высокими радиальными ребрами, достигающими толщины 0,8-1,0 мм. На большей части наружной поверхности ребра обладают треугольным или пятиугольным (у наиболее высоких ребер) поперечным профилем; их вершина заостренная, а склоны наклонены под углом примерно в 45° (у пятиугольных ребер нижняя часть склонов поставлена почти вертикально).

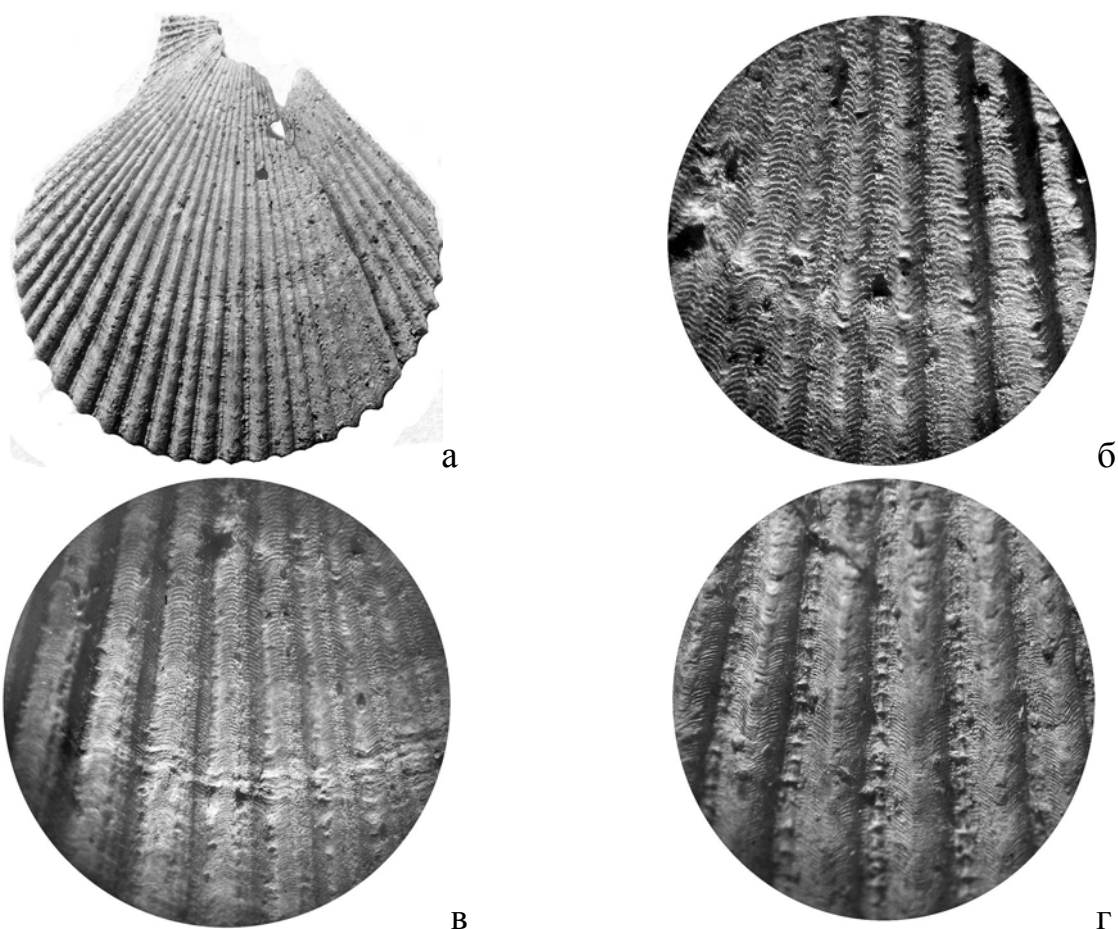


Рис. 2. Правая створка и фрагменты скульптуры *Chlamys scala* Berezovsky, sp. nov.: а – общий вид створки (увеличено в 2,5 раза); б–г – фрагменты скульптуры: б – характер дугообразных поперечных штрихов на склонах ребер (увеличено в 10 раз), в – треугольный облик ребер (увеличено в 7 раз), г – характер чешуйчатых валиков в интеркостальных промежутках (увеличено в 8 раз)

Часть ребер вблизи нижнего края меняет треугольное поперечное сечение на полукруглое. По вершине ребер проходит неотчетливый валик толщиной до 0,15 мм, на котором кое-где просматриваются рудиментарные чешуйки треугольной формы, наклоненные к нижнему краю. Склоны ребер покрыты регулярными дугообразными, поперечными штрихами (толщиной около 0,05 мм), кончики которых немного заходят на дно интеркостальных промежутков. Штрихи сходятся на вершине ребра и образуют шевронный узор, который обычно покрывает всю поверхность ребер. На одном ребре расстояние между соседними "V"-образными элементами шевронного узора составляет около 0,1 мм. Вблизи нижнего края имеется полоса высотой около 4 мм, обладающая иной скульптурой. Здесь ребра полукруглого облика, вершинный валик неотчетлив, а поперечные штрихи едва угадываются. Интеркостальные промежутки сначала "V"-образного профиля, расширяясь к нижнему краю, они приобретают плоское дно шириной до 0,5-0,6 мм. На расстоянии примерно 15 мм от макушки в промежутках появляется сначала одно центральное чешуйчатое вставочное ребрышко, а затем еще два более тонких чешуйчатых ребрышка. Таким образом, в некоторых промежутках двух главных ребер, вблизи нижнего края име-

ется три вставочных ребрышка. Некоторые ребра вблизи нижнего края имеют трехраздельный облик за счет появления по одному слабому чешуйчатому ребрышку на каждом склоне. Пять последних ребер на заднем поле несут на своих вершинах отчетливые «крупные» полуконические чешуйки, отстоящие друг от друга на расстоянии 0,3-0,5 мм. На участке ребра заднего поля длиной 1 мм умещается 3 чешуи. На вставочных ребрах интеркостальных промежутков чешуи более маленькие, отстоят друг от друга на расстоянии около 0,5 мм (на участке ребра длиной 1 мм умещается 5 чешуй). Заднее ушко покрыто 8-ю расходящимися ребрышками, несущими чешуи (на участке длиной в 1 мм их умещается 4 штуки). Число зубиков ктенолиума – 10. Остальные ушки обломаны.

Размеры (мм): ширина – 22,1, высота – 23,4, выпуклость – 2,6.

Сравнение. Вид хорошо отличается треугольным профилем ребер верхней части створки и наличием шевронного узора на склонах ребер.

Обнаруженный вид похож на *C. multistriata* (Deshayes) из лютета Парижского бассейна, но отличается меньшим числом ребер (30-ю, а не 35-ю), отсутствием чешуек на вставочных ребрышках и наличием дугообразных поперечных штрихов, а не поперечных волнообразных струек, покрывающих не только склоны ребер, но и дно интеркостальных промежутков у *C. multistriata*.

Другой похожий вид *C. multicarinata* (Deshayes) имеет меньшее число ребер (24, а не 30) и концентрические струйки, покрывающие как ребра, так и их промежутки. У рассматриваемого вида имеются только поперечные дугообразные штрихи, покрывающие только склоны главных ребер, вершины ребер и дно интеркостальных промежутков без подобных штрихов.

По присутствию "V"-образного орнамента между ребрами новый вид напоминает *C. elegans* Makarenko, появляющийся в более высоких стратиграфических горизонтах (в верхней части староингулецкой свиты), но хорошо отличается обликом ребер (они не шнуровидные, более широкие и высокие), заметно более широкими межреберными промежутками и характером "V"-образного орнамента. У *C. elegans* "V"-образный орнамент образуется за счет «сосенкообразного» расположения "V"-образных штрихов на дне интеркостальных промежутков, у *C. scala* подобный узор формируется за счет схождения прямых штрихов со склонов ребер.

Местонахождение. Слой галечника (слой 7) малиновской свиты карьера ИнГОКа, г. Ингулец.

Распространение. Средний эоцен южной Украины, малиновская свита Кривбасса.

Материал. Одна створка с обломанными ушками.

Crassatina (*Crassatina*) *filum* Berezovsky, sp. nov. (рис. 3).

Название вида от *filum*, лат. – нить.

Голотип – геологический музей Криворожского технического университета, экз. № И-69/1, правая створка; карьер Ингулецкого ГОКа, г. Ингулец, Днепропетровская обл., Украина; средний эоцен.

Описание. Створки длиной до 17 мм, субтреугольные, вытянутые в высоту, с дугообразными задней ветвью кардинального края и задним перегибом, умеренно выпуклые. Вся наружная поверхность створок покрыта тонкими кон-

центрическими ребрами, имеющими треугольный поперечный профиль. Вершины ребер округлены и имеют толщину около 0,2 мм. Расстояние между соседними вершинами ребер составляет 0,7-0,8 мм. На участке центрального поля высотой 5 мм уместается 8 подобных ребер. В правой створке отчетливо различается только кардинальный зуб 3b и один передний латеральный зуб. Зуб 3b мощный, высокий, клиновидный, слабоизогнутый. Латеральный зуб пластинчатый, длинный, низкий, слабоизогнутый. Ямка для ресилифера глубокая, её передний край внизу ограничен ребровидным поднятием, которое можно принять за зуб 5b. На левой створке находится только один клиновидный кардинальный зуб 2 и пластинчатый удлиненный слабоизогнутый задний латеральный зуб.

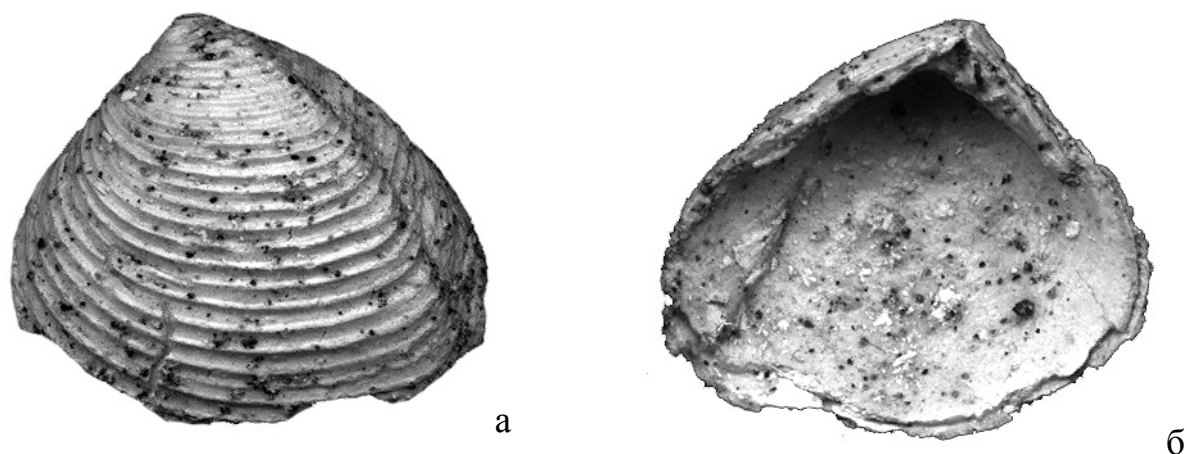


Рис. 3. Левая створка *Crassatina filum* Berezovsky, sp. nov.: а – снаружи, б – изнутри. Увеличено в 4 раза

Размеры (мм): Экз. № 69/1, длина – 16,1; высота – 13,5; выпуклость – 8,6.

Сравнение. Вид сильно напоминает *C. woodi* (Koenen), но отличается от него иной формой створок (они более вытянутые в высоту, задняя ветвь кардинального края дугообразная, выгнута наружу, а не прямая), дугообразным, более высоким, а не прямым задним килем, более узким задним полем и меньшей высотой ребер. Обычно высота ребер у *C. woodi* составляет около 0,2 мм, а у нового подвида – около 0,1 мм.

Местонахождение. Глинистые пески (слой 6) малиновской свиты карьера ИнГОКа.

Распространение. Средний эоцен южной Украины, малиновская свита Кривбасса.

Материал. 9 створок.

Выводы. Таким образом, отложения малиновской свиты, развитые на южном склоне Украинского щита, имеют определенные литологические и фаунистические отличия от ниже- и вышележащих толщ. На основании стратиграфического распространения видов двустворчатых моллюсков и нанопланктона они датируются лютетским веком. Корреляция малиновской свиты с эоценовыми стартонами северной Украины (бучакским, киевским региоярусами) и Крыма (симферопольским, новопавловским, кумским региоярусами) затруднена в связи с резким отличием фаунистических комплексов. Единственным кри-

териєм для подібного сопоставлення являються комплекси кокколитофорид. Обнаруженная в отложениях малиновской свиты нанопланктонная зона *Nannotetrina fulgens*, об'єм которой почти полностью соответствует зоне NP 15 E. Мартини, позволяет их сопоставлять с «зоной мелких нуммулитов» новопавловского региояруса Бахчисарайского стратотипичного разреза. Если опираться на анализ кокколитофорид из отложений киевского региояруса Среднего Приднепровья, который показывает присутствие в его нижней части (фосфоритовые пески и нижняя толща мергелей) нанопланктонной зоны *Discoaster tani nodifer* (NP 16), то в этом случае малиновскую свиту нельзя коррелировать с киевским региоярусом северной Украины [7]. В нижележащих отложениях бучакского региояруса нанопланктон не обнаружен. В то же время имеются указания Н.А. Савицкой о находке в фосфоритовых песках киевского региояруса кокколитофорид зоны NP 15. Поэтому достоверная корреляция малиновской свиты с североукраинскими региоярусами на основании нанопланктонных зон в настоящее время невозможна. Сопоставление малиновской свиты с бучакским региоярусом по моллюскам не проясняет данного вопроса, несмотря на то, что комплексы моллюсков двух этих стратонів достаточно представительны (общих видов 11 и почти все они имеют достаточно широкий возрастной диапазон). По положению в геологическом разрезе малиновская свита может соответствовать бучакскому региоярусу.

Список литературы

1. Березовский А.А. О местной стратиграфической схеме палеогеновых отложений Кривбасса // Сборник научных трудов НГУ. – 1998. – № 3, Т.2. – С. 93–95.
2. Березовский А. А. Местная стратиграфическая схема палеогена Криворожского бассейна // «Біостратиграфічні та палеоекологічні аспекти подійної стратиграфії»: Матер. 23 сесії Українського палеонтолог. об-ва. – Київ, 2000. – С. 43–45.
3. Ключников М.Н. Нижнетретичные отложения платформенной части Украинской ССР. – Киев: Изд-во АН УССР, 1953. – 430 с.
4. Коробков И.А. Моллюски бучакской и киевской свит Южной Украины. – Л: Изд-во ЛГУ, 1962. – 96 с.
5. Носовский М.Ф. Палеогеновые отложения северного Причерноморья (южная Украина) // Геология и рудоносность юга Украины. – 1970. – Вып. 3. – С. 3–41.
6. Андреева-Григорович А.С., Березовский А.А., Вага Д.-Д.О. Наннопланктон и моллюски эоценовых отложений Криворожского железорудного бассейна // «Теоретичні та прикладні аспекти сучасної біостратиграфії фанерозою України»: Збірник наукових праць Інституту геологічних наук. – Київ, 2003. – С. 3–5.
7. Зернецкий Б.Ф., Люльева С.А. Зональная биостратиграфия эоцена Европейской части СССР. – Киев: Наукова думка, 1990. – 104 с.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Нагорним В.М.
Надійшла до редакції 13.04.09*

УМОВИ ФОРМУВАННЯ РОДОВИЩ БУРОГО ВУГІЛЛЯ НА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ ТА ПІВДЕННО-СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОЇ ЗАПАДИНИ

В статье рассматриваются особенности формирования залежей бурого угля на территории северо-западного Донбасса. Приводятся рекомендации перспектив обнаружения новых промышленных месторождений.

В статті розглядаються особливості формування покладів бурого вугілля на площах північно-західного Донбасу. Приводяться рекомендації перспектив відкриття нових промислових родовищ.

The peculiarities of brown coal layers formation in the north-west Donbass are considered in this article. Data are given concerning the perspectives of discovery of new industrial coalfield.

Вступ. Найвищий рівень видобутку бурого вугілля в Україні був досягнутий у 1960 році (12 млн. тон). З того часу спостерігається постійна тенденція його зниження, а за роки незалежності загальний видобуток вугілля скоротився більше, ніж у 5 разів. Виходячи з того, що розвідані запаси значно скоротилися, підготовка нових ділянок під будівництво шахт за останні 15-20 років практично не проводиться, гостро стає питання про введення в проектування нових видобувних підприємств.

У зв'язку зі скороченням світових запасів нафти та газу та постійним зростанням цін на енергоносії, актуальними стали пошуки нових джерел енергоресурсів. Одним з варіантів рішення цієї проблеми є створення альтернативних паливних матеріалів на основі буровугільних родовищ північно-західного Донбасу.

Сьогодні все добуто в Україні буре вугілля використовується виключно як побутове паливо. В той же час, досвід окремих країн, наприклад Німеччини, підтверджує можливість отримання з бурого вугілля усього спектру нафтопродуктів – від авіаційного бензину та керосину до мазуту. Проблема технологічної переробки вугілля вкрай актуальна сьогодні для України. Досвід тієї ж Німеччини свідчить про можливість використання бурого вугілля для теплових енергетичних станцій в якості основного палива з домішками мазуту.

На цей час Україна має значні запаси бурого вугілля, придатного для паливно-енергетичного та хіміко-технологічного використання. Більшість родовищ сконцентрована у межах центральної частини Дніпровського басейну (Кіровоградська обл.). Вони витягуються на десятки кілометрів і представлені пласто-подібними покладами еоцен-олігоценного віку (Александрівське, Бандурівське, Золотарівське та інші родовища). Проте, більша частина цих запасів вичерпана. В той же час, перспективним регіоном для засвоєння буровугільних родовищ можна вважати територію північно-західного Донбасу та південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини. В 70-х роках тут виявлено принципово новий для України генетичний тип вугільних родовищ.

Постановка мети та завдань досліджень. Ціль роботи - дослідження умов формування буровугільних родовищ палеогену-нижнього неогену у депресійних воронках над соляними діпірами. Кількість їх досягає десятка, але найбільш потужним серед них є Ново-Дмитрівське комплексне родовище з запасами понад 500 млн. тон бурого вугілля, віднесене до категорії унікальних. Воно розташоване на межі Харківської та Донецької областей (рис. 1).

Викладання основного матеріалу. Докайнозойська поверхня цього регіону поступово знижується зі сходу на захід і північний захід, а на загальному фоні цієї поверхні спостерігаються знижені локальні ділянки, які розташовані над ядрами соляних діпірів. Саме з ними пов'язані поклади бурого вугілля та інших корисних копалин. Найбільш відомі з цих утворень – Ново-Дмитрівська, Степківська, Берекська, Лозовеньківська, Біляївська, Миронівська депресії (рис. 1).

В геологічній історії формування родовищ бурого вугілля виділяються два етапи. В допалеогеновий етап утворились структури, сприятливі для накопичення продуктивного комплексу, кайнозойський – акумуляція та формування пластів бурого вугілля, пісчано-глинистих і хемогенних порід.

До початку середнього девону на півдні Східноєвропейської платформи сформувались Дніпровсько-Донецька западина, Український щит та Вороніжська антекліза. Вони відокремлювались один від одного регіональними глибинними розломами значної амплітуди. Ймовірно, подібні розломи могли утворюватись і в серединних частинах структур, наявність яких підтверджується сейсмічним профілюванням.

Тривалий час від середнього девону до кінця нижньопермської епохи на території Донбасу і його північно-західної частини накопичується багатокілометрова товща осадів і вулканогенних порід.

Завдяки дії найбільш потужних заальської (P_1/P_2) та пфальцської (P_2/T_1) фаз герцинського тектогенезу утворюються основні складчасті та розривні структури регіону. У північно-західній частині Донбасу складкоутворення супроводжується проявленням соляного діпіризму. Впровадження штоків солі відбувалось на найбільш ослаблених тектонічними процесами ділянках: в межах зон і вузлів перетину розломів та на площах ускладненої складчастості. Діпіри девонської солі не виходили на денну поверхню, а досягали рівня водоносних горизонтів, які руйнували поверхні соляних ядер. Брекчіровані породи розміщені поверх штоків частково розмивались.

Протягом верхньопермської епохи, всього тріасу, юри та нижньої крейди на території регіону накопичуються морські та континентальні відкладення. Процес формування супроводжується тектонічними посуваннями і розмивами утворених порід. Вірогідно, будова діпірів ускладнювалась. Окремі блоки піддавались посуванням з утворенням зон підвищеної тріщинуватості, де мігрували нафта, газ та гідротермальні розчини. Останні сформували на корінних бортах Ново-Дмитрівської структури поліметалеve зруднення з промисловими концентраціями свинцю, цинку, ртуті та урану.

Після верхньої пермі до палеогенового часу підйом штоків солі відбувався сумісно з блоками вміщуючих порід, як при утворенні горстів. Після ларамійської орогенічної фази тектонічні умови стиснення замінюються розтягненням. Як наслідок, процеси утворення горстів на солянокупольних структурах замінюються формуванням грабенів, з найбільшим зануренням по раніше закладеним розломам поблизу соляних штоків і брекчірованих порід.

Відрізок часу з кінця верхньої крейди до еоцену на окраїнах північно-західного Донбасу та суміжних територіях характеризується стійкими континентальними умовами. Підняті ділянки піддавалися ерозії та вивітрюванню.

З початком еоцену територія знову починає опускатись і покривається мілким морем, що трансгресує з Причорноморської та Дніпровсько-Донецької западин. Протягом бучакського віку вона представляє собою відносно стійку літоральну область моря з глибинами 100-200 м, де накопичуються кварц-глауконітові і глауконітові піски (рис. 2). До початку трансгресії соляні діапірові структури від денної поверхні відокремлюються малопотужним покривом (десятки метрів) тектонічної брекчії. З наступом моря починається інтенсивне вилуговування та розчин соляних ядер. Сформовані з цих причин неглибокі депресії поступово заповнюються морськими осадами, утворюючи конседиментаційні мульди. Присутність напівокатаних зерен кварцу свідчить з одного боку про близьке розташування живильної провінції, ймовірно підняті ділянки Українського кристалічного масиву, з іншого – існування водних потоків що несли продукти руйнації в зону мілкого шельфу. По складу та кількості акцесорних мінералів бучакські відкладення північно-західного Донбасу подібні до однойменної морської товщі Дніпровського буровугільного басейну, що вказує на значні масштаби палеогенової трансгресії.

У кінці бучакського віку територія швидко підіймається, море відходить за межі району. Після короткочасного перериву морські води знову повільно наступають. В мілкому морі глибиною 50-70 м утворюються сірувато-зелені і світло-зелені карбонатні глини та пісковики київської свити. Трансгресія зумовила різке скорочення площі суші і зменшила кількість уламкового матеріалу винесеного ріками. За таких умов склалися сприятливі умови для хімічного осідання карбонатів, товщі мергелів і широкого розвитку органічного світу. Процес вилуговування і поступове зниження поверхні соляних діапірів не зупиняється. Оскільки інтенсивність вилуговування солі та швидкість занурення дна кожної воронки неоднакові, потужність однойменних за віком осадів в депресіях істотно відрізняються. Ймовірно, на процеси вилуговування форма та розмір соляного штоку не впливали. Наприклад, найбільша за площею Берекська структура (17 км²) має меншу глибину (290 м) порівняно з Ново-Дмитрівською структурою – 1074 м та площею 10,2 км². Швидкість та амплітуда прогинання залежали від наявності і характеру зон тріщинуватості корінних палеозойських порід оточуючих депресію, глибиною розташування та потужністю водоносних горизонтів, швидкості та напрямку морських течій. Так, протягом київського віку поверхня Ново-Дмитрівського соляного штоку понизилася на 140-160 м, Берекського на 30-70 м, Біляївського на 30-40 м, що зафіксовано відповідно потужністю означених покладів. У межах Степківської депресії осади зазначеного віку розвинені лише в південно-східній її частині, що обумовлено особливими обставинами формування цієї структури.

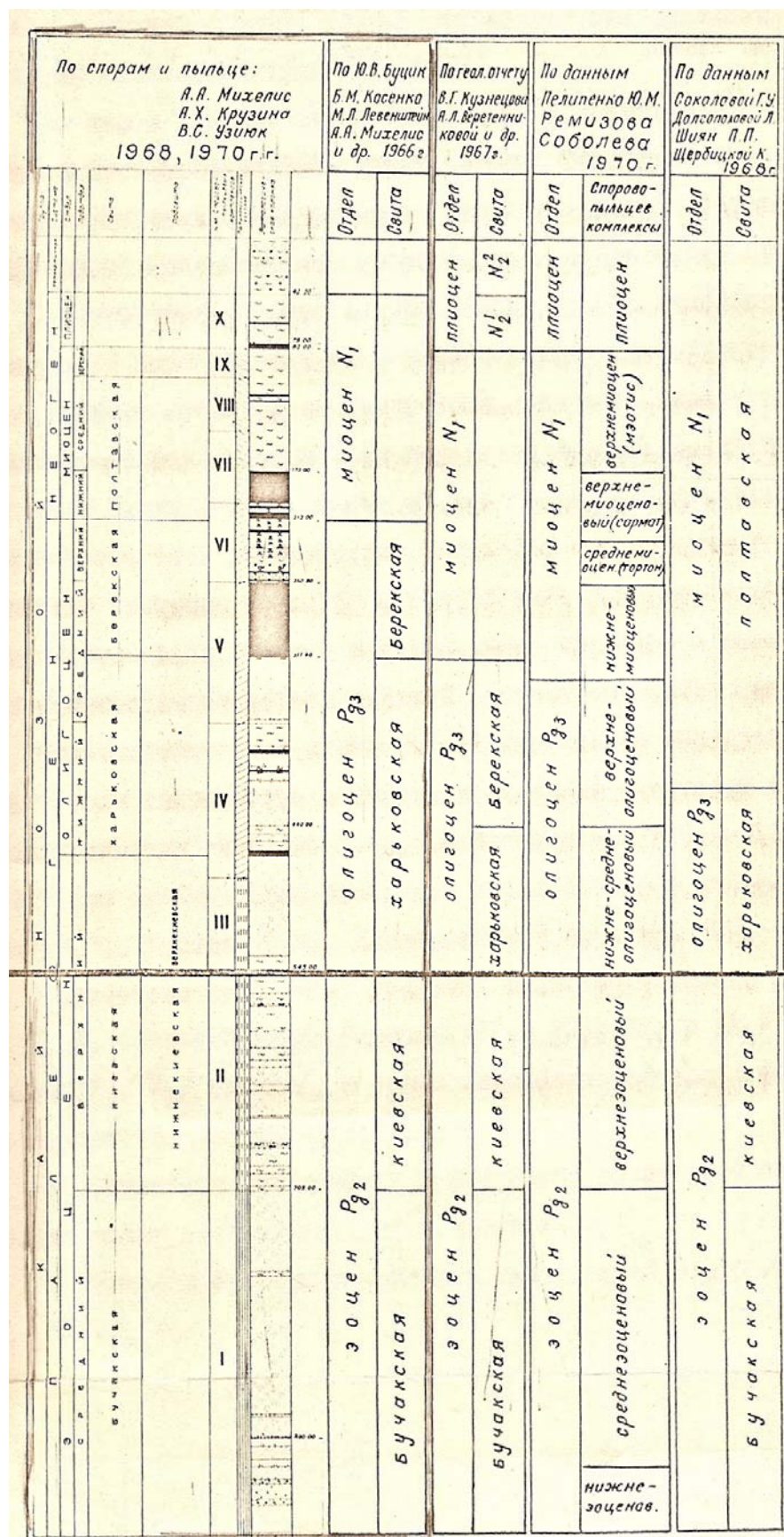


Рис. 2. Співставлення стратиграфічних схем кайнозойської товщі Ново-Дмитрівської депресійної воронки

Наприкінці київського віку, після короткочасного перериву в осадконакопиченні, знову настає трансгресія. Територія покривається мілким морем глибиною 50-100 м. Згідно з речовинним складом осадів умови формування харківської свити подібні умовам накопичення бучакської свити. Порооди представлені товщею кварц-глауконітових пісків та крихких пісковиків, які іноді переходять в алевролітисті глини і алевроліти. Живильною провінцією, як і раніше, залишаються підняті ділянки східної та південно-східної частини Українського кристалічного масиву.

У кінці харківського віку починається деградація моря. Помітно зменшується кількість глауконіту. Процес накопичення уламкового матеріалу сповільнюється, поклади палеогену найбільш піднятих ділянок виходять на денну поверхню. В цілому, осади характеризуються відносно однорідним складом і повною відсутністю карбонатності. Протягом харківського віку депресії продовжують занурюватися. Слід зазначити, що збільшення потужності одновікових товщ морських осадів не супроводжується помітною зміною їх складу, що свідчить про умови компенсаційного прогинання.

Берекська свита утворена мілководною товщею морських осадів за складом аналогічних породам середньої частини харківської свити. У межах депресійних западин берекська свита верхнього олігоцену та полтавська серія нижнього міоцену представлені виключно континентальними відкладеннями. У їх складі встановлені пласти і лінзи бурого вугілля, горизонти діатомітів, сульфатно-карбонатні породи.

На початку берекського віку територія знову покривається мілким морем, за виключенням піднятих, контролюючих соляні структури. В останніх накопчуються континентальні осади: піски і крихкі пісковики, глини, вуглисті глини, буре вугілля, горизонти діатомітів і глинистих карбонатів.

Помірно-теплий і вологий гумідний клімат, геоморфологічні умови сприяли розвитку рослинності, періодичному відмиранню і накопиченню рослинних залишків на занурених ділянках – депресіях у вигляді невеликих замкнутих мілководних водоймищ. Періодично вони заболочувались і перетворювались на драговині болота, де формувались потужні торф'яники. Поступово тектонічний режим стабілізується, з середини берекського віку широкого розвитку набувають вугленосні фації. Формуються основні продуктивні горизонти Ново-Дмитрівської, Берекської, Степківської та інших депресій. Потужність і будова покладів вугілля залежить від коливальних рухів і кількості уламкового матеріалу, що надходив з бортів западини. Повільне занурення дна депресії компенсується безперервним наростанням торф'яної маси, що забезпечує формування потужного шару торфу до десятків та сотень метрів (Ново-Дмитрівська та Степківська депресії). Нерівномірне прогинання приводить до зміщення ділянок максимальної потужності осадів. Область інтенсивного занурення Ново-Дмитрівської депресії протягом еоцену-олігоцену знаходилась поблизу її північно-східного борту. Саме тут і зафіксовані найбільші потужності бучакської, київської, харківської і берекської свит (рис. 2). З початком полтавського віку неогену вона змістилася до центру воронки, де спостерігається найбільша потужність однойменної свити. Прикладом складних коливальних рухів може служи-

ти і Степківська депресія. Швидке занурення дна депресій сприяє інтенсивному приносу матеріалу, але скорочує площу торфоутворення завдяки перекриванню периферії торф'янику уламковим та глинистим матеріалом.

У кінці берекського віку в кожній депресії склалися своєрідні фаціальні умови. В Ново-Дмитрівській структурі умови солонуватого осадконакопичення змінюються на різке опріснення водоймища, що підтверджується строкатим літологічним складом. З часом спостерігаються процеси замулювання та заростання рослинністю, що призводить до утворення бурого вугілля.

У межах Берекської та Степківської депресійних воронк утворення каолініт-гідрослюдяних алевритистих глин з рослинним детритом і тонкими прошарками глинистого діатоміту свідчать про стабільний режим опріснення.

Товщі порід Бантишевської, Біляївської, Лозовеньківської депресій формувались в умовах зміни процесів занурення, інтенсивного зносу уламкового матеріалу і заростання водоймищ, розвитку торф'яників, що утворювало тонкі пласти бурого вугілля і вуглистих глин.

Полтавський вік наслідуює геотектонічні, кліматичні і фаціальні умови кінця палеогену. На більшій території району широкого розвитку набуває товща алювіальних кварцових пісків. В депресійних воронках продовжується формування озерно-болотних фацій.

На території Ново-Дмитрівської депресії утворюються товщі безкарбонатних вуглистих глин каолініт-гідрослюдяного складу. В нижній і верхній частині свити спостерігаються поклади бурого вугілля складної будови, що свідчить про нестійкий режим коливальних рухів. Але ще більш нестійкий режим спостерігається в межах Берекської і Степківської структур. Відмічаються потужні піщані товщі (15-18 м), які відповідають періодам швидкого занурення, підсиленню розмиву і зносу уламкового матеріалу. В час стабілізації формуються поклади вугілля невеликої потужності (3-9 м) та засмічені мінеральними домішками.

Бантишевська і Біляївська депресії заповнені темно-сірими кварцовими глинистими пісками, які містять малопотужні поклади (до 5-7 м) високозольного вугілля.

До кінця полтавського віку занурення депресійних воронк сповільнюється. Поступово відбувається деградація замкнених водоймищ, скорочення площі розвинення озерно-болотних фацій і широке розповсюдження річних піщаних осадів. Горизонти бурого вугілля верхньої частини полтавської свити відрізняються обмеженим розповсюдженням та низькою якістю. В бік периферії депресій вугілля часто заміщене вуглистою глиною.

На початку пліоцену територія регіону характеризується практично однаковими гіпсометричними відмітками ділянок над соляними штоками і поза їх межами, на що вказують несуттєві коливання потужності. Породи пліоцену характеризуються глинисто-піщаною товщею. Четвертинні відкладення розповсюджені практично повсюдно, мають звичайну потужність і представлені переважно лесами та лесовидними суглинками.

Не дивлячись на подібні географічні і кліматичні обставини розвитку окремих депресійних западин, утворення в них бурого вугілля пов'язане з різним режимом коливальних рухів. Будова вугільних покладів витримана у ме-

жах кожної окремої депресії і не відповідає аналогічним за віком вугільним горизонтам інших родовищ, що підтверджує індивідуальний розвиток кожної депресії. Вивчення вугленосних відкладень показує, що рештки рослин накопичувались на місцях їх зростання, тобто в автохтонному режимі. Але не виключаються факти короткочасного переносу рослинного матеріалу, за участі паводкових вод.

Висновки. За особливостями формування та генезису буровугільні родовища розподіляються на три групи. До першої входять Бантишевське, Ново-Дмитрівське, Степківське, Берекське, Лозовеньківське, Біляївське та Миронівське родовища. Вони сформувались у депресіях над соляними штоками, для них характерна відносно невелика площа розповсюдження вугленосних фацій (до 20 км²) та значна потужність палеоген – неогенових утворень (до 1000 м) і вугільних покладів (30-40-74 м).

До другої групи відносяться родовища пов'язані з компенсаційними прогинами, що утворились у результаті перерозподілу соляних мас і відтоку останніх в області розвантаження, тобто до соляних куполів. Найбільш відомим представником являється Сула-Удайське буровугільне родовище, а також Камішевахське та Картамишське родовища. Відмінними рисами цієї групи стали значний площадний розвиток вугленосних фацій (іноді сотні км), відносно мала потужність кайнозойської товщі (десятки, рідше перші сотні метрів) і буровугільних покладів (перші метри).

До третьої групи слід віднести родовища та проявлення бурого вугілля пристосовані до заболочених ділянок (староріччя) давніх річних долин. Вони відрізняються невеликими розмірами (до 2-6 км²), витягнутою у одному напрямку вигнутою формою, малою потужністю вугленосної товщі (десятки метрів), незначною потужністю (до 2-3 м), низькою якістю вугільних покладів і не мають промислового значення.

У 2007 році Кабінет Міністрів України утвердив постанову про підтримку підприємств, які добувають кам'яне вугілля, лігніт (буре вугілля) і торф. Розробляється державна програма створення потужностей для виробництва синтетичного газу з бурого вугілля. Згідно енергетичної стратегії України, планується збільшення об'ємів видобутку бурого вугілля відкритим способом. І в цьому проекті достойне місце належить Ново-Дмитрівському комплексному буровугільному родовищу.

Серед вищеназваних буровугільних родовищ у якості перспективних треба розглядати периклінальні замикання структур, що входять в найбільш підняту гіпсометричну антиклінальну зону на продовженні головної антикліналі Донбасу. До них приурочені усі відомі соляні структури у межах району. Крім того, слід звернути увагу на компенсаційні прогини, що прилягають до соляних куполів, заповнені палеоген-неогеновими утвореннями підвищеної потужності.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Нагорним Ю.М.
Надійшла до редакції 24.04.09*

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ДИСЛОКАЦИЙ В СДВИГОВЫХ ЗОНАХ (ПО МАТЕРИАЛАМ ОТРАБОТКИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ДОНЕЦКО-МАКЕЕВСКОМ РАЙОНЕ)

Анализ сплошной отработки основных рабочих пластов свит C_2^6 и C_2^7 на некоторых шахтах ГП "Макеевуголь" и выполненные структурно-тектонифизические исследования, позволили авторам установить некоторые закономерности изменения морфологии сдвиговых зон в разрезе угленосной толщи. Было установлено, что зоны сдвиговых дислокаций имеют тенденцию к расширению вверх по восстанию. На верхних горизонтах они могут проявляться в виде эшелонов кулисообразно расположенных брахискладок и пологих бескорневых надвигов, образующих острый угол с простиранием оси генерировавшей их сдвиговой зоны.

Аналіз суцільного відпрацювання основних вугільних пластів свит C_2^6 і C_2^7 на окремих шахтах ДП "Макіїввугілля" та виконані структурно-тектоніфізичні дослідження, дозволили авторам встановити деякі закономірності змін морфології зсувних зон у розтині вугленосної товщі. Було встановлено, що зони зсувних дислокацій мають тенденцію до розширення за підйомом порід. На верхніх горизонтах вони можуть проявлятися у вигляді ешелонів кулісоподібно розташованих брахіскладок та похилих безкорневих насувів, що розташовані над віссю зсувної зони і утворюють з нею гострий кут.

The analysis of continuous improvement of the basic working layers of retinues C_2^6 and C_2^7 on some Makeevugol mines and the structural and tectonophysical researches which was executed have allowed authors to establish some regularity of strike-slip zones morphology change in a cross-section of carboniferous thickness. It has been established, that zones of strike-slip dislocations tend to expansion upwards up-dip. On rise levels they can be manifested as echelons of slip-located brachy-formed folds and flat overlaps with no roots forming an acute angle with trending of an axis of a strike-slip zone oscillating them.

Вступление. Представления о ведущей роли горизонтальных тектонических движений в геотектонике утвердились сравнительно недавно. И если о существовании грандиозных горизонтальных перемещений масс по пологим или практически горизонтальным поверхностям шарьяжей в горно-складчатых сооружениях геологам было известно уже давно, а ещё более грандиозные горизонтальные перемещения литосферных плит были окончательно признаны научной общественностью в 60-70-х годах XX века, то горизонтальным сдвигам вдоль внутриконтинентальных крутопадающих и вертикальных зон разломов особого внимания долгое время не уделялось. В то же время, как следует из многочисленных литературных источников, сдвиги самых разных масштабов широко распространены в земной коре и с ними часто связаны структуры рудных полей и отдельных месторождений, и не только рудных полезных ископаемых. В последние годы появились данные об определяющей роли сдвиговых зон в формировании структур месторождений углеводородов, алмазов [1-4]. Во многих регионах сдвиги являются самыми молодыми тектоническими дислокациями горного массива. Они активны и в настоящее время. Подвижки по ним сопровождаются землетрясениями и другими геодинамическими процессами, поэтому всестороннее изучение этих структур весьма актуально.

Цель исследований – выяснение структурно-морфологических и тектонофизических особенностей формирования сдвигов и сдвиговых зон (на примере

Донецко-Макеевского района) и дальнейшее использование установленных закономерностей для корректировки результатов физического моделирования процессов структурообразования в горном массиве, а также при разведке и отработке месторождений различных полезных ископаемых.

При этом на основании личных наблюдений и по имеющейся горно-геологической документации, изучалась морфология всех имеющихся деформационных элементов горного массива, кинематика разрывов, их пространственные ориентировки, выделялись устойчивые парагенезисы трещинно-разрывных структур; решались прямая и обратная тектонофизические задачи:

- определялись параметры тектонических полей напряжений и
- с учетом реконструированных параметров оценивались ориентировка и кинематика тектонических разрывов района.

Изложение основного материала. В последние годы появился обширный литературный материал о наличии в угленосной толще Донбасса сдвиговых тектонических дислокаций. Сдвиги (как особый морфологический тип разрывов с близгоризонтальными смещениями крыльев) выделяются на всех структурных уровнях – от региональных разломов до мелкоамплитудной тектоники [5-8].

Считается, что особенности морфологии сдвиговых зон хорошо изучены. Начиная с 20-х годов XX века было выполнено множество экспериментов на различных эквивалентных материалах, в которых изучались структуры разрушения и деформирования, возникающие в моделях. Был установлен и описан характерный для сдвиговых зон набор деформационных элементов (или структурный парагенезис) [9-11]. Так, в структурный парагенезис сдвиговых зон, как правило, входят различные сколы (L , P , R , R'), отрывы (T) и пликативные дислокации (брахискладки). Помимо продольных L -сколов, в строении сдвиговых зон часто принимает участие сопряженная пара сдвигов: синтетические сколы R – близпараллельные простиранию зоны с тем же смещением, что и по основному разлому и антитетические сколы R' – ориентированные практически перпендикулярно оси зоны. Смещение по R' -сколам, противоположно смещению по основной зоне. Однако, как установлено в последнее время [12], при физическом моделировании не полностью выполняются условия подобия по гравитационной составляющей воздействия. Для удовлетворения условия подобия по гравитационным силам в экспериментах рекомендуется дополнительно применять центрифугирование.

С точки зрения последних замечаний небезынтересны данные, полученные авторами в ходе проведения структурно-тектонофизических исследований на шахтах Донецко-Макеевского района. Здесь сплошная отработка угольных пластов и наличие детальной геологической документации позволили получить данные о реальной морфологии сдвиговых зон в нескольких горизонтальных сечениях на различных стратиграфических уровнях.

В результате проводившихся исследований авторами среди тектонических дислокаций были установлены и выделены сдвиги и сдвиговые зоны двух пространственных ориентировок: субширотные – северо-западные правые и субмеридиональные – левые. Эти сдвиговые зоны проявляются в геологической структуре района как «тектонополосы» или зоны скалывания.

Выполненный статистический анализ более чем 250 разрывов, формирующих сдвиговые зоны района, позволил выделить отдельные элементы структурного парагенезиса для зон правого и левого сдвига и их пространственную ориентировку. Более простой морфологией в районе характеризуются зоны правых сдвигов, сформированные чаще всего, продольными L-сколами и синтетическими R-сколами (рис. 1-Б, Г). В целом, для элементов структурного парагенезиса зон правых сдвигов устанавливаются следующие элементы залегания: L-сколы – аз. пад. 10° , $\angle 70^\circ$, R-сколы – аз. пад. 200° , $\angle 70^\circ$, R'-сколы – аз. пад. 140° , $\angle 60^\circ$, P-сколы – аз. пад. 180° , $\angle 70^\circ$ (рис. 1).

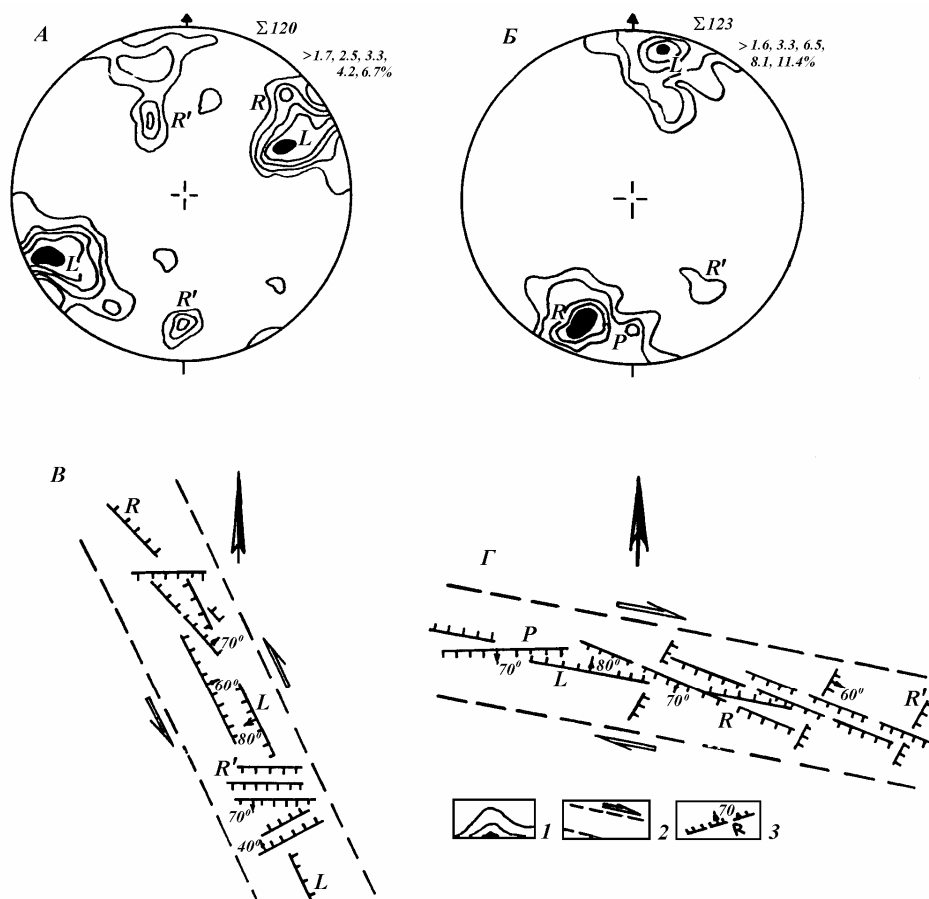


Рис. 1. Статистический анализ ориентировок разрывов сдвиговых зон Донецко-Макеевского района. Стереограммы плотности распределения полюсов разрывов: А – для зон левого сдвига, Б – для зон правых сдвигов. В, Г – идеализированные структурные парагенезисы сдвиговых зон Донецко-Макеевского района: для левого (В) и правого (Г) сдвигов. 1 – изолинии плотности распределения полюсов разрывов; 2 – контуры сдвиговых зон и направления подвижки по ним; 3 – тектонические разрывы (в плане) и углы их падения

Зоны левых сдвигов обладают более сложной морфологией. В их строении чаще всего преобладают поперечные к оси зоны антитетические сколы R' (рис. 1-А, В). Элементы залегания разрывов, входящих в структурный парагенезис зон левых сдвигов: L-сколы – аз. пад. 65° , $\angle 55-60^\circ$ и 245° , $\angle 80^\circ$, R-сколы – аз. пад. 50° , $\angle 70-75^\circ$, R'-сколы – 180° , $\angle 70^\circ$ и отрывы (сбросы) Т – аз. пад. 335° , $\angle 40^\circ$.

Более подробно морфология этих сдвиговых зон района рассмотрена авторами в работах [13, 14]. Кроме тех особенностей морфологии сдвиговых зон,

которые уже описаны в этих работах, было отмечено изменение строения сдвиговых зон в разрезе. В ходе проводившихся исследований и по результатам анализа планов горных работ установлено, что существует тенденция к расширению сдвиговых зон по восстанию с одновременным затуханием амплитуды составляющих их разрывов.

В качестве примера можно рассмотреть Калиновский взброс, хорошо прослеженный горными и разведочными работами на полях шахт «Калиновская-Восточная» и им. В.И. Ленина (ГП «Макеевуголь»). Нарушение крутопадающее, имеет северо-западное простирание. Элементы залегания сместителя: аз. пад. 10-15°, $\angle 60-80^\circ$. Нормальная стратиграфическая амплитуда смещения по нему, зафиксированная в горных выработках шахт не превышает 20 м. По нашим данным Калиновский взброс в кинематическом плане является правым сдвигом.

В пластах l_1 и l_4 , отрабатываемых шахтами «Калиновская-Восточная» и им. В.И. Ленина на глубинах 700-770 и 620-650 м соответственно, это нарушение представляет собой компактную зону шириной 50-60 м, состоящую из 2-3 параллельных сместителей. На верхних горизонтах, в пластах l_7 и l_8^I (на глубинах 450-500 м) – это рассредоточенная зона трещиноватости и мелкоамплитудной нарушенности шириной до 400 м. Т.о., строение зоны изменяется, но не принципиально. Уменьшается амплитуда отдельных разрывов и увеличивается расстояние между ними. Если на нижних горизонтах это преимущественно продольные нарушения (L-сколы), то на вышележащих (в пл. l_8^I) это уже система кулисообразно расположенных нарушений, составляющих с осью зоны угол 10-15° и формирующих в плане правый ряд кулис (синтетические R-сколы).

Помимо расширения, на верхних горизонтах может изменяться и тип деформационных элементов, связанных со сдвиговой зоной. Подобная ситуация зафиксирована для одной из сдвиговых зон, выявленных и задокументированных при отработке угольного пласта l_4 в восточном крыле шахты им. В.И. Ленина. Эта зона авторами непосредственно наблюдалась в подготовительных выработках 37-й и 37-й «бис» лав пласта l_4 (абсолютные отметки -420 – -470 м). Это нарушение представлено здесь единым сместителем с небольшой зоной дробления и имеет вид крутопадающего сброса с элементами залегания: аз. пад. 210°, $\angle 65-70^\circ$ и нормальной амплитудой смещения 1,0-1,5 м. Штрихи на плоскости сместителя наклонены под углом 15° к горизонту.

Выше по восстанию (работы шх. №13 «бис») в пласте l_7 (абсолютная отметка -350 – -300 м) и пласте l_8^I (-250 – -300 м) ширина сдвиговой зоны возрастает до 100-150 м за счет серии субпараллельных основному сместителю разрывов в его лежащем крыле. В пласте l_8^I помимо этого в висячем крыле зафиксированы пологие надвиги северо-восточной ориентировки.

Ещё выше, в плоскости пласта m_3 (абсолютная отметка -110 – -180 м) основной сместитель не фиксируется. Вместо этого в надсдвиговой зоне отмечены пологие брахискладки широтной – северо-восточной ориентировки, сопровождающиеся пологими (углы падения 15-20°) надвигами в крыльях. Это синклиналиальная складка с размахом крыльев до 100 м и амплитудой 10-15 м и сопряженная с ней в северном крыле ассиметричная антиклиналь. Нормальная амплитуда надвигов, сопровождающих складки, достигает 10-15 м (рис. 2).

На генетическую связь всего этого набора дислокаций с нижележащей сдвиговой зоной указывает не только их пространственная совмещенность, но и тот факт, что, несмотря на существенные амплитуды, эти надвиги и складки нигде в нижележащих пластах не прослеживаются. Установленные особенности строения сдвиговых зон, с точки зрения авторов, могут объясняться вертикальной зональностью поля тектонических напряжений. На значительных глубинах на образующиеся в сдвиговых зонах тектонические деформации существенное влияние оказывает действующая вертикально гравитационная составляющая, обусловленная весом вышележащих пород. Поэтому при тангенциальном сжатии слоистой толщи высвобождение материала в вертикальной плоскости ограничено или невозможно. При уменьшении глубины залегания влияние вертикальной составляющей всестороннего давления уменьшается и при тех же по величине значениях горизонтального сжатия ось растяжения может занимать субвертикальное положение (что характерно для надвигов и складок продольного изгиба).

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

- зоны сдвиговых дислокаций имеют тенденцию к расширению вверх по восстанию;
- на верхних горизонтах сдвиговые зоны могут проявляться в виде эшелонированных кулисообразно расположенных бахискладок и пологих бескорневых надвигов, образующих острый угол с простираемостью оси генерировавшей их сдвиговой зоны.

Список литературы

1. Гладков А.С. Сдвиговые разломы Сибирской платформы и кимберлитовый магматизм // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. – Т.2. – М.: ИФЗ РАН, 2008. – С. 117-119.
2. Гогоненков Г.Н., Тимурзиев А.И. Строение и генезис платформенной складчатости Западной Сибири в свете новых данных о региональном проявлении горизонтальных сдвигов фундамента // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. – Т.2. – М.: ИФЗ РАН, 2008. – С. 120-123.
3. Уткин В.П. Эшелонированные разрывные структуры месторождений Приморья // Геотектоника. – 1978. – №4. – С. 99-104.
4. Структура, рудоносность и тектонические поля напряжений центральной части Никитовского рудного поля / В.А. Корчемагин, В.С. Емец и др. // Ртутные месторождения Донбасса. – К.: Наукова Думка, 1982. – С. 70-79.
5. Структурная геология Донецкого угольного бассейна. – М.: Недра, 1985. – 150 с.
6. Куш О.А. О характере тектонических движений по разрывам Донецко-Макеевского района Донбасса // Уголь Украины. – 1984. – №5. – С. 40-41.
7. Смишко Р.М. Главные разломы Донецкого бассейна и связанные с ними сдвиги // Геотектоника. – 1985. – №2. – С. 120-125.
8. Привалов В.А. Закономерности распространения и эволюции тектонической нарушенности в Донецко-Макеевском районе Донбасса // Изв.ВУЗов. Геология и разведка. – 1990. – №3. – С. 46-55.
9. Стоянов С.С. Механизм формирования разрывных зон. – М.: Недра, 1977. – 144 с.
10. Борняков С.А. Моделирование сдвиговых зон на упруго-вязких материалах // Геология и геофизика. – 1980. – №11. – С. 75-84.

11. Борняков С.А. Тектонофизический анализ процесса формирования трансформной зоны в упруго-вязкой среде // Проблемы разломной тектоники. – Новосибирск: Наука, 1981. – С. 26-40.

12. Михайлова А.В., Ребецкий Ю.Л. Проблемы тектонофизического моделирования зоны сдвига // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле – Т.1. – М.: ИФЗ РАН, 2008 – С. 148-151.

13. Павлов И.О., Бурлуцкий Н.С. Сдвиги и сдвиговые зоны Донецко-Макеевского района // Уголь Украины. – 2003. – №7. – С. 37-39.

14. Бурлуцкий Н.С., Павлов И.О. Особенности мелкоамплитудной тектоники Донецко-Макеевского района // Уголь Украины. – 2004. – №1. – С. 43-46.

*Рекомендовано до публікації д.г.н. Приходченком В.Ф.
Надійшла до редакції 14.04.09*

УДК 550.41

© О.В. Орлинская, В.Н. Шастун, Д.С. Пикареня,
О.А. Терешкова, Н.Н. Максимова

ВЛИЯНИЕ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ОТВАЛА НА ИЗМЕНЕНИЯ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОДСТИЛАЮЩИХ ПОРОД

Рассматривается воздействие породного отвала на подстилающие образования осадочного чехла.

Розглядається вплив породного відвалу на підстилаючі утворення осадового чохла.

Influence of pedigree dump is examined on laying formations of sedimentary cover.

Вступление. Постановлением Кабинета Министров Украины от 23 сентября 1996 г. № 1168 "О мерах по улучшению водохозяйственной ситуации на горнорудных предприятиях Кривбасса" предусмотрены мероприятия по обеспечению качественной водой населения и отраслей экономики, решение водохозяйственных и экологических проблем бассейнов рек Ингулец и Саксагань, направленных на создание безопасных условий проживания населения и восстановления окружающей среды.

На первом месте стоят мероприятия по изучению источников загрязнения поверхностных и подземных вод. Например, загрязнение р. Ингулец длится на протяжении года за счет влияния оборотных вод коммунальных хозяйств и свыше 50 промышленных предприятий Кировоградской и Днепропетровской областей. Однако, если с предприятиями-загрязнителями, которые непосредственно осуществляют сброс оборотных вод в открытые водоемы можно сотрудничать относительно уменьшения вредных сбросов, то с другими факторами загрязнения, которые уже практически не зависят от хозяйственной деятельности, бороться очень тяжело, тем более, что их влияние и вклад в ухудшение общего эколого-гидрологического положения практически не изучен. К ним относятся, в частности, как действующие, так и законсервированы отвалы горных пород и хвостохранилища.

Ранее, на примере Левобережных отвалов Южного горно-обогатительного комбината (ЮГОК, г. Кривой Рог) рассматривались некоторые процессы, происходящие в них. В частности, в результате теоретического моделирования предложена схема формирования вертикальной зональности в отвалах железорудного производства, состоящая из трех зон: современного выветривания, осаждения химических соединений и минеральных новообразований, электрохимических процессов [1]. Изучение миграционной способности химических элементов [2] показало, что отвалы являются мощным постоянно действующим источником загрязнения подземных и поверхностных вод и почв. Усугубляется ситуация наличием хорошо развитой разломно-трещинной тектоники пород фундамента Украинского щита. Однако осталось неизученным влияние отвала на подстилающие его породы и геологические процессы, происходящие в них.

Целью работы является оценка механического влияния отвала горных пород на подстилающие кайнозойские образования на примере Левобережных отвалов ЮГОКа. Для этого решались **задачи** по расчету давлений, оказываемых отвалом в разных точках и обусловленных им просадок грунтов, а также моделирование геологических процессов под ним.

Изложение основного материала. В Левобережных отвалах ЮГОКа (рис. 1) сосредоточено около 270 млн.м³ скальных вмещающих пород и окисленных кварцитов на площади около 900 га. Отвалы расположены на левом берегу р. Ингулец к юго-западу от карьера. Длина отвала около 4500 м, ширина 2500 м, высота в среднем около 100 м. Отвал отсыпается ярусами высотой 20-40 м, западная сторона имеет пять ярусов, восточная два яруса, результирующий угол откоса отвала 15°. Западная часть отвала сложена скальными породами (сланцы, кварциты и т.п.), а восточная – окисленными железистыми кварцитами. Схематический разрез Левобережного отвала показан на рис. 2.



Рис. 1. Фрагмент топографической карты Левобережных отвалов Южного ГОКа, г. Кривой Рог

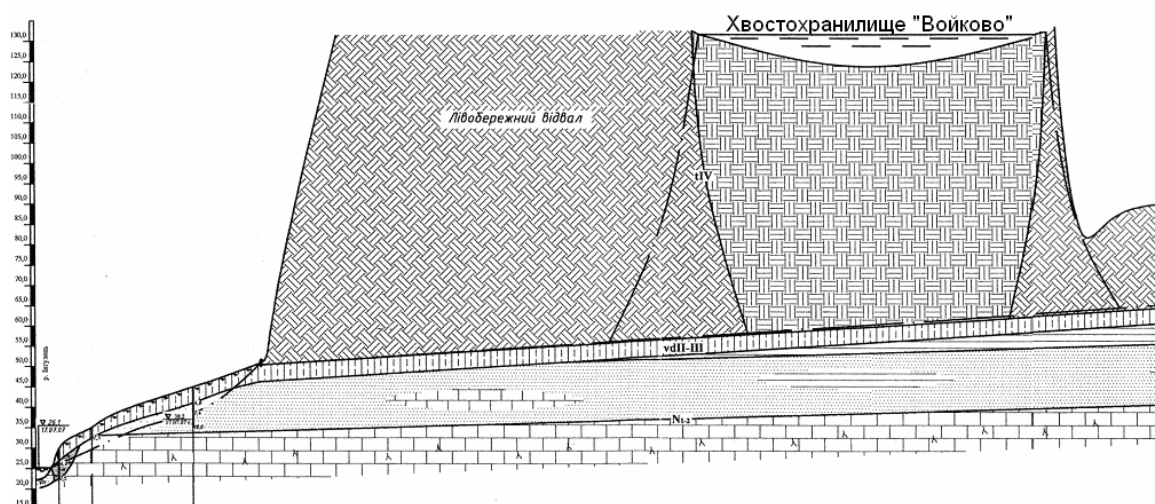


Рис. 2. Схематический профиль Левобережного отвала (по материалам Государственного регионального проектно-изыскательского института «Днепрогипроводхоз»)

Территориально отвалы располагаются в зоне одного из наиболее нарушенных участков Криворожско-Кременчугского глубинного разлома. Здесь по геолого-геофизическим данным выделяются несколько систем разрывных нарушений и зон повышенной трещиноватости различной ориентировки в осадочных породах и кристаллическом фундаменте, которые представляют собой разветвленную протяженную сеть сообщающихся дренажных каналов, обуславливающих переток подземных вод из одного геологического горизонта в другой.

В настоящее время на поверхности отвала под воздействием экзогенных факторов формируются современные коры выветривания – породы разрушаются, самые мелкие частицы в виде пылевых облаков переносятся ветром на достаточно большие расстояния и накапливаются в понижениях рельефа. Более крупные частицы сносятся временными водными потоками (дождевые и талые воды) или скатываются к подножию отвала.

В теле отвала под воздействием различных факторов (атмосферные осадки, утечки воды из хвостохранилищ, сезонные перепады температур, изменение рН-условий) протекают физико-химические процессы, в результате которых образуются легкорастворимые соли: сульфаты и хлориды K, Na, Ca, Mg, карбонаты щелочных и щелочноземельных металлов. Одновременно происходит гидролиз силикатов и вынос извлеченных оснований: KOH, NaOH, $Mg(OH)_2$, $Ca(OH)_2$, кремнезем и $MnCO_3$ в основном подвижные в щелочных водах. Наименее растворимыми являются соединения Fe, Mn, P, соединения малых элементов (V, Cr, Ni, Co, Cu, Zn и др.), поэтому вынос их осуществляется в небольших количествах.

Помимо этого, в результате химического разложения силикатов и алюмосиликатов образуются кремнийсодержащий фильтрат и кальциево-магнезиальный фильтрат с большим количеством кремнезема, магния, кальция и закисного железа. Эти фильтраты мигрируют в нижние части отвала и вызывают возникновение разности потенциалов на границе фаз «твердое тело – жидкость», что способствует развитию электродных систем, проявляющихся в

виде многоступенчатых и разнообразных по форме гальванических зон различных масштабов от микро- до крупномасштабных и электрокинетических явлений – электрофореза и электроосмоса. При изменении химического равновесия кремниевый гель осаждается, образуя малопроницаемые зоны окремнения в нижних горизонтах отвала – внутренние водоупоры с напорными внутриотвальными водами.

В центральных частях отвалов породы максимально уплотнены, здесь развиты тонкие протяженные поры и трещины, в которых может аккумулироваться фильтрат, обогащенный наиболее подвижными компонентами Na, K, Cl, O, CO₂, что подтверждается химическим составом вод источников (минерализация до 6 г/л), выходящих по трещинам из отвалов. Температура воды источников, не превышающая 10-12 °С круглый год, свидетельствует о постоянной температуре в центре отвала, т.е. наблюдается эффект термостатирования. Присутствие таких мощных электролитов, каковыми являются хлориды и сульфаты натрия, калия в порах, трещинах и между обломков горных пород, содержащих магнетит, гематит, пирит, пирротин может привести к развитию электрохимических реакций по схеме, предложенной Л.Г. Прожогиным и В.Г. Борисенко [3], при этом источником слабых электромагнитных полей может служить зона разлома, проходящая под отвалом. В результате этих процессов образуется внутриотвальная зональность, обусловленная чередованием пород с различными физико-химическими и прочностными свойствами. Наличие таких пород определяет неравномерное проседание отвала, образование системы трещин и зон повышенной проницаемости, достигающих подошвы отвала.

Поскольку отвал формируется на породах осадочного чехла, то необходимо рассмотреть процессы, происходящие в них. Непосредственные наблюдения за подотвальными породами весьма затруднены, поскольку требуют бурения в сложных условиях, поэтому ценную информацию может дать расчетная модель влияния отвала на подстилающие породы.

В качестве геологической модели отвала принят профиль, изображенный на рис. 3.

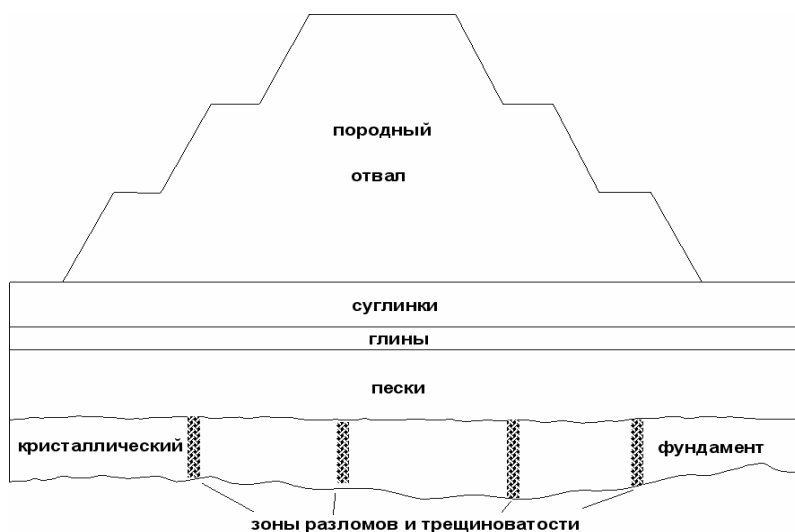


Рис. 3. Профиль исходной геологической модели породного отвала

Отвал состоит из трех равновысоких уступов высотой 15 м, его общая высота 45 м. Мощность подстилающих суглинков, глин и песков составляет 5 м,

1 м и 6 м соответственно. Усредненная плотность пород отвала принята 2800 кг/м^3 , ширина расчетной зоны – 1 м, ее площадь – 1 м^2 .

Согласно принятым исходным данным, давление, создаваемое отвалом в различных точках, будет разным: в районе первого уступа $P_1=42000 \text{ кг/м}^2$ (420 кН), второго – $P_2=84000 \text{ кг/м}^2$ (820 кН), третьего $P_3=126000 \text{ кг/м}^2$ (1260 кН).

Расчет осадки подстилающих пород проводится по схеме линейно-деформируемого слоя:

$$s = \frac{P \cdot b \cdot k_c}{k_m} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{k_i - k_{i-1}}{E_i}, \quad (1)$$

где P – среднее давление от толщи отвала; b – ширина расчетной зоны; $k_c = k_m = 1,5$ – коэффициенты из [4]; n – количество слоев грунта основания; E_i – модуль деформации i -го слоя; k_i, k_{i-1} – коэффициенты, определяемые в зависимости от толщины слоя ξ (табл. 4, [4]):

$$\xi = 2z/b, \quad (2)$$

где z – толщина слоя.

Основываясь на данных табл. 3 и 4 [4], для суглинков будут характерны следующие параметры: $\xi_1=10,0$, $k_1=0,277$, $E_1=14 \text{ МПа}$; для глин: $\xi_2=2,0$, $k_2=0,15$, $E_2=14 \text{ МПа}$; для песка: $\xi_3=12,0$, $k_3=0,794$, $E_3=40 \text{ МПа}$.

Подставляя полученные величины в выражение (1) получим, что величина осадки под уступом высотой 15 м составит 0,315 м, под 30-метровым – 0,63 м, под 45-метровым – 0,945 м.

Таким образом, результирующая модель отвала и деформируемых подстилающих пород будет соответствовать приведенной на рис. 4.

Благодаря давлению, оказываемому массой отвала на подстилающие породы (например, масса Левобережного отвала с хвостохранилищем «Войково» оценивается в 900 млн. тонн), в них происходит уплотнение рыхлых и слабо-рыхлых водопроницаемых пород, в десятки раз уменьшаются коэффициенты фильтрации, из-за чего перекрываются пути миграции и перетока подземных вод; происходит «выжимание» (выпучивание) пластичных пород (глины) из-под отвалов с образованием удаленных бугров выпирания и нарушения первичного субгоризонтального залегания водовмещающих пород и т.д. (рис. 3). Следствием этих процессов является формирование нового горизонта сильно минерализованных и загрязненных грунтовых вод в четвертичных отложениях. Эти грунтовые воды во время наводнений являются одним из слагаемых процессов подтопления сельскохозяйственных угодий и населенных пунктов.

В итоге нарушения сплошности водоупоров внутриотвальные воды приобретают связь с трещиноватыми породами докембрийского кристаллического фундамента и могут передвигаться по зонам разломов на многокилометровые расстояния, вызывая развитие ореолов загрязнения в регионах, не связанных с горной промышленностью. С тектоникой связано и развитие опасных геологических процессов, таких как обвалы, оползни, формирования суффозионных и карстовых воронок, а также подземных полостей.

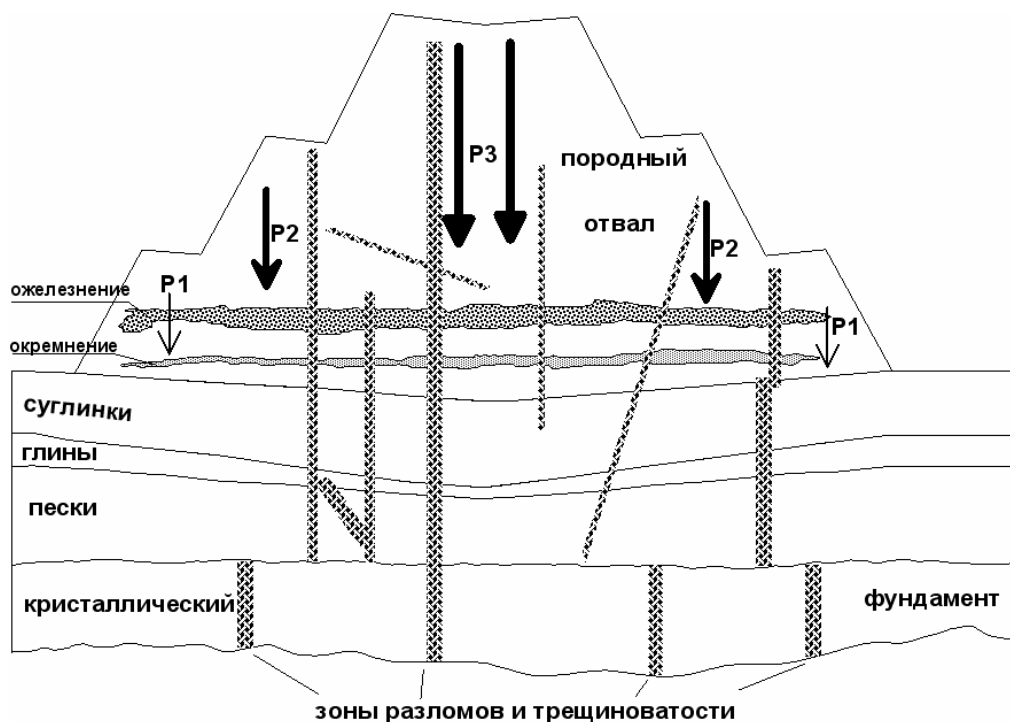


Рис. 4. Расчетная модель породного отвала и его влияние на подстилающие породы. P1, P2, P3 – давление, оказываемое отвалом (в тексте)

Выводы. Проведенные исследования и расчеты подтвердили, что породный отвал является не только фактором загрязнения, но и влияет на геологическую и гидрогеологическую ситуацию близлежащих районов. Для более полного понимания происходящих внутри отвалов процессов необходимо детальное их изучение специалистами различных направлений: геологами, гидрогеологами, биологами, экологами. Полученные данные позволят разработать комплекс мер по уменьшению вреда, наносимого отвалами окружающей среде.

Список литературы

1. Орлинская О.В., Терешкова О.А., Алексеев А.А. Модель физико-химических преобразований в левобережных отвалах ЮГОКа // Наук. вісн. НГУ. – 2005. - №9. – С. 99-102.
2. Орлинская О.В., Терешкова О.А., Пикареня Д.С. Экологические проблемы железорудных регионов // Мат. Всеукраїнської наук.-прак. конф. “Екологічні проблеми гірничо-металургійного комплексу за умов формування принципів збалансованого розвитку”, Дн-ськ, 2-3 грудня 2008 р. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2008. – С. 165-172 (240 с.).
3. Роль электрохимических процессов в формировании окисленных железных руд Криворожского типа/ Л.Г. Прожогин, В.Г. Борисенко, В.М. Казак и др. – К.: Изд-во ИГФ АН УССР, 1984. – 52 с.
4. Строительные нормы и правила СНиП 2.02.01-83 (1995): Основания зданий и сооружений. – Москва 1995. – Электронный ресурс. – Режим доступа: <http://info-build.com.ua/normativ/detail.php?ID=40690>

*Рекомендовано до публікації д. г.-м. н. Додатком О.Д.
Надійшла до редакції 14.04.09*

ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ТЕРИТОРІЇ ГІРНИЧОГО ВІДВОДУ ШАХТИ ІМ. С.М. КІРОВА

Рассматривается влияние деятельности человека на степень изменения геологической среды территории горного отвода шахты им. С.М. Кирова в результате проведения горнодобывающих работ.

Розглядається вплив діяльності людини на ступінь ураженості геологічного середовища території гірничого відводу шахти ім. С.М. Кірова через проведення гірничодобувних робіт.

Influence of activity of the person on degree of change of the geological environment of territory of mountain tap of mine of S.M. Kirova as a result of carrying out of mountain-extracting works is considered.

Вступ. Гірничодобувні регіони загалом і Криворізький зокрема характеризуються високим ступенем ураженості геологічного середовища, що обумовлено видобутком корисних копалин і техногенним навантаженням на довкілля, спричиненим складуванням відходів добувної та переробної промисловості. За відносно короткий час під впливом господарської діяльності людини відбулися суттєві зміни ландшафту, а також геологічної, гідрологічної, гідрогеологічної складових природного середовища. Створення техногенного ландшафту, висока ступінь ураженості геологічного середовища завдяки відкритій і підземній розробці залізних руд, порушення гідродинамічного режиму підземних вод, забруднення поверхневих вод, атмосферного повітря, ґрунтів разом з особливостями геологічної будови Криворіжжя сприяють активізації розвитку провалів, зсувів, техногенного карсту, підтоплення територій, зниженню ступеня сейсмостійкості регіону, формуванню техногенних геохімічних аномалій в ґрунтах тощо. Ставки-накопичувачі і шламосховища є прямими чинниками виникнення селевих явищ з притаманними для них катастрофічними наслідками. Сьогодні територія Криворізького басейну являє собою потенційну зону, в межах якої активізовано всі чинники виникнення надзвичайних ситуацій техногенно-природного характеру, пов'язаних з суттєвими змінами природного стану геологічного середовища. У зв'язку з цим районування території Криворізького басейну за ступенем ураженості геологічного середовища є актуальною науковою проблемою.

Мета та завдання досліджень полягає в вивченні еколого-геологічних особливостей території гірничого відводу шахти ім. С.М. Кірова, розробці критеріїв попередження надзвичайних ситуацій в умовах техногенного ураження геологічного середовища гірничодобувних районів, вивчення технотектоніки Кривбасу; встановлення просторового зв'язку гірничих споруд та інфраструктури промислових комплексів і населених пунктів з розломно-блоковою тектонікою.

Викладення основного матеріалу. Територія гірничого відводу шахти ім. С.М.Кірова належить до найбільш проблемних в еколого-геологічному відношенні. Шахта ім. С.М. Кірова розташована у центральній частині Криворізького басейну (рис. 1). У межах території її гірничого відводу розташовані гірничі

виробки, кар'єр та відвали. Експлуатацію шати розпочато у 1930 році на теперішній час розробка покладів багатих залізистих руд проводиться на глибинах 1000 м. і більше. На поверхні ведеться розробка залізистих кварцитів відкритим способом (кар'єром), яка була розпочата у 1953 році. Також на території гірничого відводу розташовані відвали, об'єми за складованих у них відходів добувної промисловості постійно зростають.

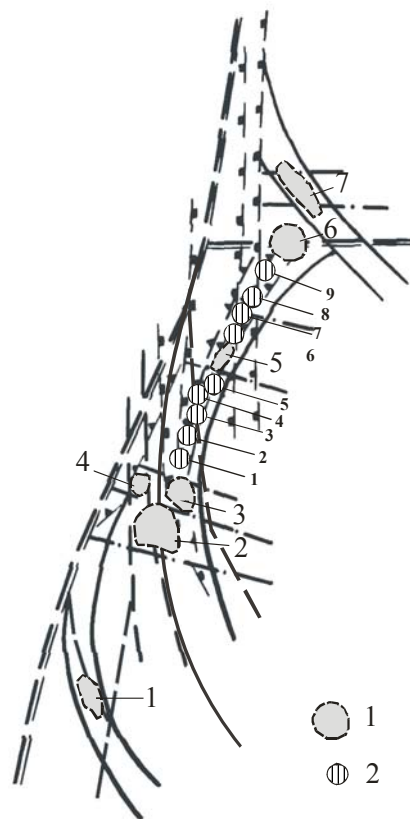


Рис. 1. Схема розташування кар'єрів і шахт в межах Криворізької структури: 1 – кар'єри (1 – Інгулецький, 2 – Південного ГЗК, 3 – № 2 Новокриворізького ГЗК, 4 – № 3 Новокриворізького НГЗК, 5 – Центрального ГЗК, 6 – Первомайський, 7 – Ганнівський); 2 – шахти (1 – Гігант-Глибока, 2 – ім. С.М. Кірова, 3 – Родіна, 4 – Більшовик, 5 – Октябрська, 6 – ім. В.М.Фрунзе, 7 – Ювілейна, 8 – Гвардійська, 9 – ім. В.І.Леніна)

Шахта була закладена з метою розробки покладів багаті залізної руди четвертого та п'ятого залізистих горизонтів. В структурно-геологічному відношенні ділянка її гірничого відводу приурочена до східного крила і зони замикання Саксаганської синкліналі. Східна частина ділянки складена породами четвертого сланцевого горизонту, який представлений асоціацією кварц-графіт-хлоритових, кварц-графіт-серицитових та хлорит-серицитових та серицит-хлоритових сланців (рис. 2). На Західну частину складають гідрогематитові кварцити четвертого сланцевого горизонту, характерною особливістю є інтенсивне розланцювання і широкий розвиток тріщинуватості та розсланцьована по площинам нашарування. Вище за розрізом залягає потужна товща гематит-мартитових і гідрогематит-мартитових кварцитів четвертого залізистого гори-

зонту, яка до гори за розрізом змінюється гематитовими та гідрогематитовими кварцитами п'ятого сланцевого горизонту.

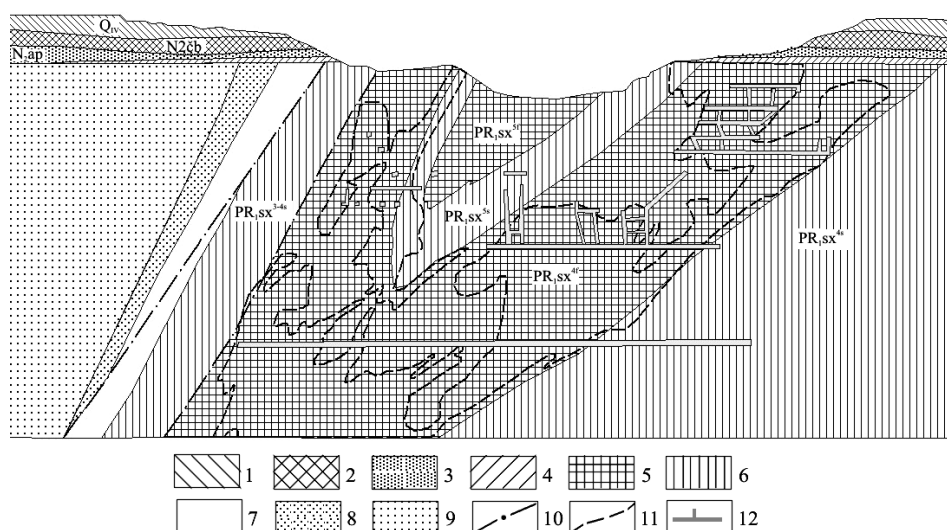


Рис. 2. Геологічний розріз: 1 – четвертинні відклади; 2 – червоно-бурі глини; 3 – піски; 4 – суглинки; 5 – залізисті горизонти; 6 – сланцеві горизонти; 7 – тальк-хлорит-актинолітові сланці; 8 – філіти; 9 – аркозові пісковики; 10 – розривні порушення Саксаганського насуву; 11 – контури видобутої маси; 12 – гірничі виробки

В західній частині ділянки проходить зона Саксаганського насуву, де на породи саксаганської світи насунуті сланці поєднаних третього-четвертого сланцевого горизонтів саксаганської світи, а також утворення скелюватської світи складеної (знизу догори): аркозовими пісковиками, філітами та тальк-хлорит-актинолітовими сланцями.

Осадочний чохол представлений пісками, червоно-бурими глинами та суглинками. Алювіальні піски нижнього пліоцену характеризуються фрагментарним розповсюдженням, залягають на корі вивітрювання порід криворізької серії. Вище за розрізом залягає товща червоно-бурих глин нижнього-верхнього пліоцену, які замінюються товщею четвертинних суглинків. Загальна потужність осадового чохла складає від 10 до 45 м.

Головна еколого-геологічна проблема геологічного середовища полягає в: осіданні території, забрудненні ґрунтів, утворенні техногенних ландшафтів, забрудненні ґрунтових та поверхневих вод. Як результат на території гірничого відводу утворилися досить потужні провальні зони. Тут зафіксовано п'ять провалів, які виникли за період з 1998 по 2008 рік унаслідок потужних технотектонічних процесів і на даний час не є стабілізованими (рис. 3)

На основі аналізу геологічної документації проведено вивчення тектонічних умов формування провальних процесів із створенням картографо-аналітичної моделі (рис. 4). В результаті обстеження провалів встановлено їх приуроченість до зон тектонічної активності. В межах гірничого відводу шахти ім. С.М. Кірова спостерігається дві системи тріщин. Перша найбільш активна представлена зоною Саксаганського насуву субмеридіонального простягання. Друга зона простягається з північного заходу на південний схід та ускладнена

дрібними розломами. Тектонічну ситуацію в межах району ускладнює наявність в розрізі різних за фізико-механічними властивостями порід (сланці, залізисті кварцити, тальки).



Рис. 3. Поширення провалів в межах гірничого відводу шахти ім. С.М. Кірова: 1 – зони утворення провалів; 2 – діючий кар'єр.

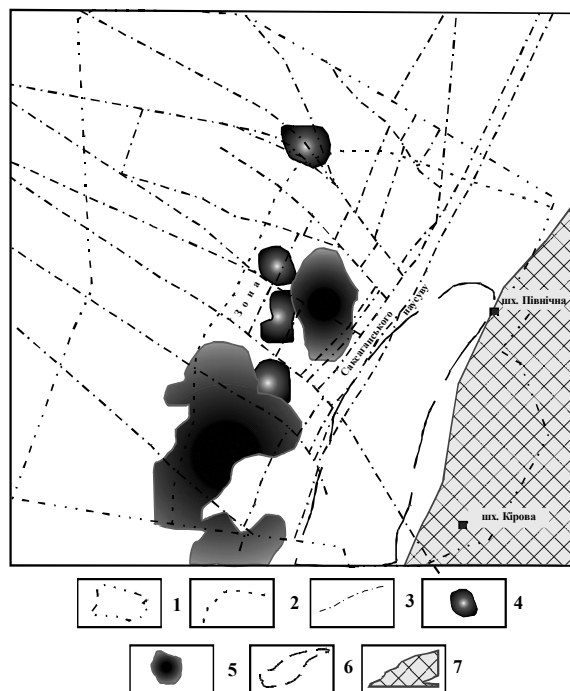


Рис. 4. Схема техногенного навантаження на геологічне середовище території гірничого відводу шахти ім. С.М. Кірова: 1 – границя гірничого відводу ш. ім. С.М. Кірова; 2 – лінія здвигу гірських порід висячого боку від гірничих робіт горизонту -200; 3 – розривні порушення; 4 – провали; 5 – відвали; 6 – кар'єр; 7 – промислова зона.

Провальні зони тяжіють до ділянок розвитку тектонічних зон (див. рис. 2). Породи, якими складені ці зони, за своїми структурно-текстурними особливос-

тями, механічними параметрами і гідрогеологічними властивостями, також впливають на активізацію провальних і зсувних процесів. Підвищенню ступеня активізації Підвищенню ступеня активізації цих явищ сприяє інженерно-геологічна діяльність людини. На території гірничого відводу постійно проводяться вибухові роботи, як на поверхні так і під землею, що приводить до підвищення сейсмічної активності, розкриття древніх тектонічних зон, формування нових і, ймовірно, виникнення технотектонічних рухів. На півдні відводу частина провалів засипана відходами, що збільшує тиск на гірські породи та активізує процес їх руйнування.

Висновки. За результатами досліджень та аналізу отриманих даних була складена еколого-геологічна модель території гірничого відводу шахти ім. М.С.Кірова за ступенем ураженості геологічного середовища (рис. 4). На ній чітко підтверджується багатофакторний характер формування зсувів з домінуючим впливом тектонічного фактору, чинника і розвитком промислової інфраструктури, також простежується зв'язок з особливостями геологічної будови території.

Проведення районування території гірничого відводу шахти ім. Кірова за ступенем ураженості геологічного середовища доводить істотний вплив інженерно-геологічної діяльності людини на погіршення стану геологічного середовища. Цей район є показовим полігоном для відпрацювання аналітичних методик дослідження геологічних процесів активізованих діяльністю людини і може бути рекомендованим для постановки еколого-геологічного моніторингу.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. Доброгорським М.О.
Надійшла до редакції 14.04.09*

УДК 528.48 (075)

© Н.П. Рева, Ю.В. Орешников, А.Н. Луценко

ГЕОМОНИТОРИНГ ЗДАНИЯ, ВОЗВЕДЕННОГО НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Выполнены исследования и оценка деформации здания, возводимого на слабых грунтах в процессе достижения максимальных проектных нагрузок.

Виконані дослідження і оцінка деформації будівлі, збудованої на слабких грунтах, в процесі досягнення максимальних проектних навантажень.

The research and evaluation of deformation of deformation of builders erected on soft grounds in the process of achieving the maximum design load carried out.

Вступление. Строительство зданий и сооружений на просадочных грунтах, а также на слабых грунтах с низкими модулями деформаций, требует особых условий расчета фундаментов с учетом проектных постоянных нагрузок и несущей способности подстилающих грунтов. Задача усложняется конфигурацией и этажностью здания, уровнем грунтовых вод, наличием и состоянием

инженерных водонесущих сетей, мощностью слоя просадочных грунтов, условиями эксплуатации и многими другими факторами.

Мировая практика знает множество примеров возведения зданий и сооружений на просадочных и слабых грунтах. Каждый из них по-своему уникален. Изучение опыта и накопление статистической информации позволяет учесть характерные условия строительства, а также исключить возможные деформации строительных конструкций в процессе эксплуатации.

Цель работы: исследование и оценка деформации здания, возводимого на слабых грунтах при помощи геодезического контроля деформаций.

Изложение основного материала. Характерной особенностью строительства административно-бытового здания ОАО ЭК «Днепрооблэнерго» по ул. Запорожское шоссе, 20 в г. Днепропетровске было то обстоятельство, что административная часть здания в семь этажей с подземным паркингом и техническим этажом примыкает (согласно проекту) к пятиэтажному лабораторному корпусу. Фундамент административного здания – фундаментная железобетонная плита, лабораторного корпуса – ленточный фундамент. Фундаменты независимые с разрывом в 40 мм. Уровень грунтовых вод 10,7 м от поверхности земли, мощность просадочных грунтов 5,7 м. Ниже просадочных грунтов залегают частично обводненные слабые грунты с низким модулем деформации.

При расчете фундаментов были учтены все перечисленные факторы. Реализация строительства здания по принятой конструктивной схеме, согласно СНиП 2.02.01.- 83 и ДБН В.1.1- 5-2000 исключала неравномерность уплотнения грунта (по расчету) после приложения проектных постоянных нагрузок и деформации ограждающих конструкций с нарушением их сплошности.

В инженерно-геологическом отношении площадка строительства представлена комплексом осадочных пород: элювиальных верхнечетвертичных лессовых суглинков и супесей, покрытых насыпными грунтами и почвенно-растительным слоем. Поскольку лессовые грунты проявляют просадочные свойства в случае повышения их влажности и водонасыщения, то под зданием выполнена грунтово-шлаковая подушка по уплотненному тяжелой трамбовкой основанию. Просадочные грунты удалены практически полностью, подушка выполнена до зоны капиллярной каймы уровня подземных вод. По механическим характеристикам водонасыщенные подстилающие грунты относятся к слабым с низкими модулями деформации. После приложения всех проектных постоянных нагрузок процесс уплотнения таких грунтов носит медленно затухающий характер.

В силу производственной необходимости, строительство объекта осуществлялось в две очереди (рис. 1).

Каждый блок делился на две части с организацией между ними деформационных разрывов. В дополнение, с целью равномерного нагружения грунтового основания, кладка несущих стен осуществлялась равномерно по обоим блокам. В 2003 году был введен в эксплуатацию блок №1. Строительство блока №2 продолжалось, а когда завершилось возведение пятого этажа – в подвальной части блока №2, в несущих стенах, появились трещины с раскрытием до 2мм.

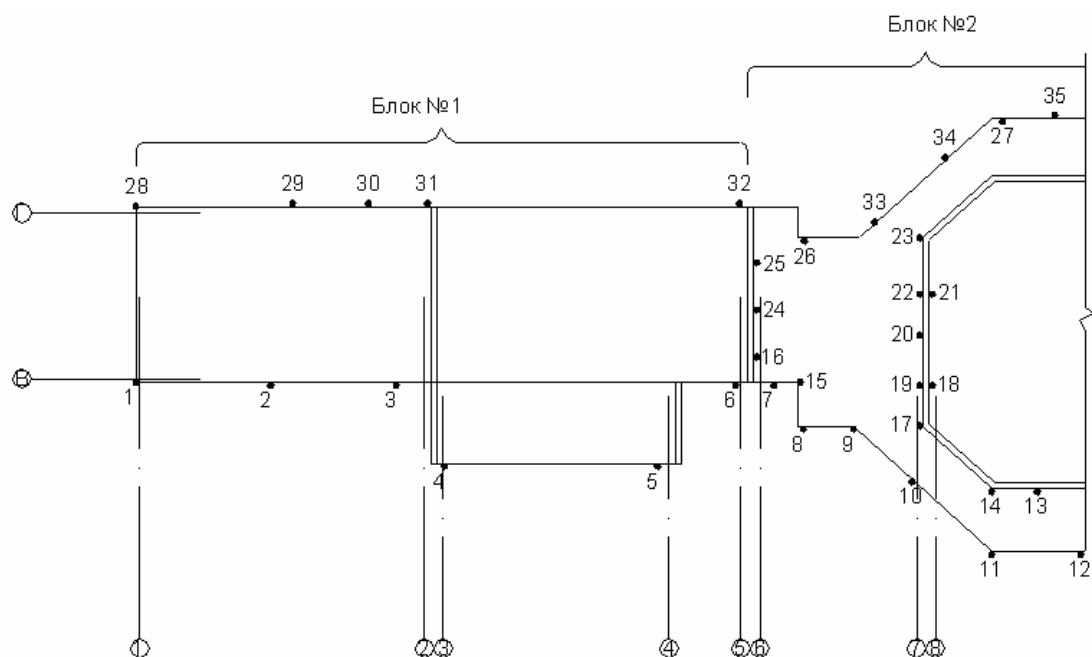


Рис. 1. Очередность строительства объекта и схема расположения осадочных марок: первая очередь – производственная часть (блок №1, пять этажей); вторая очередь – административная часть (блок №2, семь этажей)

Выявленные деформации строительных конструкций стали первопричиной заложения осадочных марок в блоке №2 и начала регулярных геодезических наблюдений за осадками фундаментов в период с 14.02.2003 г. до 05.01.2005 г. Абсолютная осадка фундамента составила около 90 мм при практически неизменной скорости осадок (3 мм/мес.). Начиная с 21.06.2005 г. предметом геодезического контроля деформаций стал и блок №1.

При производстве геодезических измерений использовались нивелиры первого класса Н-05, KoNi002 и штриховые инварные рейки РН-05. Анализ результатов геодезических наблюдений выполнен статистическим методом. Невязка в замкнутых полигонах не превышала допустимых значений, установленных по зависимости:

$$fh = \pm 0.5\sqrt{n} \text{ , мм}$$

где n – количество штативов в нивелирном ходе.

Геодезические наблюдения за зданием проводили в течение года с интервалом в один квартал, результаты работ приведены в табл. 1 и на рис. 2.

Из анализа результатов геодезического контроля деформации здания следует, что предполагаемая равномерная осадка здания не была достигнута. Даже на стадии затухания осадок абсолютное их значение на блоке №1 в 1,5 – 2,3 раза меньше осадок на блоке №2. Отсутствие данных геомониторинга здания за весь период строительства, от нулевого цикла до монтажа технического этажа, позволяет лишь косвенно, по выявленным деформациям ограждающих конструкций, судить о наличии еще большей неравномерности осадок частей здания (блок №1 и блок №2).

Таблица 1

Ведомость отметок и осадок марок на здании по Запорожскому шоссе, 20

№ марок	Исходная отметка, мм 21.06.05г.	Суммарная осадка, мм		
		19.10.05г.	30.03.06г.	25.05.06г.
1	869,000	-	-0,4	-1
2	969,800	-2,9	-3,1	-3,2
3	935,875	-3	-3,7	-4,2
4	5000,950	-1,5	-2,2	-2,5
5	979,525	-1,8	-2,5	-2,8
6	461,525	-1,8	-2,4	-2,9
7	531,950	-5,5	-6,4	-6,8
8	392,950	-6,1	-7	-7,3
9	393,225	-3	-3,5	-3,8
10	399,225	-1,1	-1,5	-1,6
11	290,650	-0,4	-0,8	-1
12	270,200	-1,9	-2,3	-2,5
13	232,650	-2,1	-2,6	-2,8
14	248,900	-6,3	-7	-7,3
15	261,150	-5,8	-6,7	-7,1
16	273,800	-6,6	-7,4	-7,8
17	286,000	-6,7	-7,6	-7,9
18	347,350	-6,8	-7,7	-7,9
19	355,550	-6	-6,4	-7
20	285,850	-5,9	-6,8	-7,1
21	289,750	-6,4	-7,2	-7,5
22	288,400	-6,4	-7,1	-7,5
23	295,875	-5,8	-6,8	-7
24	265,450	-5,7	-6,5	-6,9
25	262,800	-5,3	-6,1	-6,4
26	222,800	-2,4	-2,8	-3
27	372,500	-2,3	-2,7	-2,8
28	5038,375	-2,7	-3	-3,1
29	5003,325	-3,1	-3,4	-3,6
30	973,275	-	-0,1	-0,3
31	812,800	-2,7	-2,9	-3,1
32	705,350	-5,2	-5,6	-5,7
33	681,300	-3,1	-3,5	-3,7
34	650,725	-2,4	-2,4	-2,4
35	731,925	-0,3	-0,1	-0,2

Логично предположить, что при строительстве линейно протяженных зданий сложной конфигурации с различными типами фундаментов следует учитывать не только физико-механические свойства подстилающих грунтов, а и детально изучать механизм уплотнения слабых грунтов с низким модулем деформации для различных типов фундаментов в процессе приложения всех проектных постоянных нагрузок. Необходимо также учитывать время строительства и степень обводненности слабых грунтов.



Рис. 2. Графики осадок деформационных марок, начало наблюдений – 21.06.05

Потребность в регулярных наблюдениях за деформациями грунтового основания продиктована еще одним обстоятельством. В 2005 г., после введения в эксплуатацию блока №1, прилегающая территория была спланирована, благоустроена и покрыта асфальтом, с организацией стока талых и ливневых вод в сторону Запорожского шоссе, мимо блока №2, где благоустройство еще не выполнялось, а твердое покрытие отсутствовало. В период таяния снега, вода с большой территории сконцентрировалась в зоне блока №2, нашла «слабое место» в грунтовой слабоуплотненной засыпке фундамента и проникла в верхние слои грунтово-шлаковой подушки, представленной уплотненным отвальным шлаком, мощностью 1 м. На нулевом цикле строительства, при формировании грунтово-шлаковой подушки в летнее время, когда температура окружающей среды достигала +40°C, уплотнение последнего слоя глины до проектных значений не было достигнуто. Поэтому было принято решение, согласованное, генпроектировщиком, о замене слоя глины на шлак, что привело к увеличению мощности подстилающего шлакового слоя фундамента с 0,33 м до 1,0 м, ставшего идеальным местом для сбора воды.

Подтверждением подтопления здания стало появление воды в приемке лифтовой шахты. Уровень воды соответствовал верхней отметке грунтово-шлаковой подушки. За полтора года наблюдений уровень воды уменьшился всего не несколько сантиметров. Расчетная величина объема воды под фундаментом – около 900 м³. Последствия от проникновения такой массы воды в слабонесущие слои грунтового основания могут привести к серьезным деформациям строительных конструкций.

Выводы. По итогам геомониторинга здания за период с 22.06.05 г. по 25.05.06 г. установлено, что:

1. Наблюдаемые осадки здания связаны с реализацией общих деформаций водонасыщенного основания при действии постоянных длительных нагрузок.

2. Величины осадок находятся в пределах расчетных значений, согласно «Приложению 2 СНиП 2.02.01-83». Процесс деформации основания идет с затухающей скоростью, имеющей общую тенденцию снижения.

3. Измеренные значения осадок от 0,3 до 7,9 мм составляют менее 4,8% от максимальные допускаемых значений осадки (15,0 см при относительной неравномерности 0,0024 д.ед. и крене отдельных секций 0,005 д.ед).

4. Неравномерность осадок в плане здания обусловлена различными нагрузками на основание при разной этажности отдельных секций.

5. Деформации основания классифицируются как осадочные. Основная часть осадок реализована. Их медленное нарастание возможно в силу сезонного колебания уровня подземных вод, локального увлажнения основания.

6. По состоянию на май 2006 г. деформации основания находятся в затухающей стадии, их значительного роста не прогнозируется.

7. При нестабильном положении уровня подземных вод в дальнейшем возможен рост неинтенсивных осадок. Наблюдения за зданием должны быть проведены с периодичностью 2 раза в год до момента стабилизации осадок, критерием чего является скорость до 1,0 мм/год.

Таким образом, геомониторинг здания следует продолжить совместно с контролем уровня воды в грунтово-шлаковой подушки до полного исключения замачивания основания фундамента.

*Рекомендовано до публікації д.г.н. Приходченком В.Ф.
Надійшла до редакції 14.05.09*

УДК 622.271

© Б.Ю.Собко

ВСТАНОВЛЕННЯ ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ РОЗРОБКИ ПРИ ОСВОЄННІ РОЗСИПНИХ РОДОВИЩ

Проведено исследование области применения бестранспортной системы разработки при освоении россыпных месторождений.

Проведено дослідження області застосування безтранспортної системи розробки при освоєнні розсипних родовищ.

Research of application of the bestransportnoy system of development domain is conducted at mastering of rossyynykh deposits.

Для підвищення ефективності роботи гірничо-видобувних підприємств в Україні розроблена „Концепція розвитку гірничо-металургійного комплексу України до 2010 року” яка направлена на переорієнтацію процесів видобутку корисних копалин на ресурсозберігаючі технології.

Виходячи з теорії й практики розробки горизонтальних марганцеворудних, вугільних і нерудних родовищ [1, 2], рекомендована область застосування безтранспортної системи розробки (БСР) обмежується потужністю розкриву 40 - 42 м при потужності шару корисної копалини 2-3 м. У той же час рекомендації щодо застосування безтранспортної системи розробки при освоєнні розсипних пластових покладів, потужністю 5 - 30 м, відсутні.

В зв'язку з цим встановлення області застосування безтранспортної системи розробки на кар'єрах при освоєнні розсипних родовищ є актуальною науковою задачею, яка спрямована на підвищення ефективності гірничих робіт за рахунок застосування раціональних технологічних схем.

Метою досліджень ставилось обґрунтування області застосування безтранспортної системи розробки розсипних родовищ з урахуванням робочих параметрів сучасних екскаваторів-драглайнів.

Основними гірничо-геологічними факторами, що впливають на технологічну можливість і економічну доцільність застосування безтранспортної системи розробки родовища є: - потужність розкривних порід; - потужність шару корисної копалини; - стійкість масиву гірських порід; - виробнича потужність кар'єру; - спосіб розробки корисної копалини (валовий або селективний).

Встановлення області застосування безтранспортної системи розробки (БСР) рекомендується визначати в такій послідовності:

- 1) вихідні дані (по вищенаведеним 5-ти факторам);
- 2) визначення продуктивності кар'єру по розкриву (по розкривному надрудному уступі);
- 3) установа типу екскаватора-драглайна по ємності ковша, відповідно продуктивності кар'єру по корисній копалині;
- 4) вибір найбільш прийнятної моделі встановленого типу екскаватора по забезпеченню необхідного максимального радіуса розвантаження й черпання;
- 5) установа найбільш ефективної технологічної схеми БСР (простої або ускладненої).

Продуктивність кар'єру по надрудному розкривному уступу (Q_{κ}^{ϵ}) визначається виходячи із трьох основних факторів: потужності розкриву, (висоти надрудного розкривного уступу) (H_{ϵ}), потужності рудного шару (h_{δ}), і виробничої потужності кар'єру ($Q_{\kappa}^{n.u}$). Розрахунки по встановленню залежностей $Q_{\kappa}^{\epsilon} = f(h_{\delta})$, були виконані для умов Вільногірського ГМК при $H_{\epsilon} = 50$ м та Іршанського ГЗК при $H_{\epsilon} = 10-30$ м. Графіки залежностей продуктивності кар'єру по розкриву від потужності рудного шару й виробничої потужності кар'єру наведені на рис. 1 і рис. 2.

Графоаналітична апроксимація одержаних даних, наведених на рис.1 дозволила встановити залежності, які описуються ступеневими рівняннями виду: крива 1 - $Q_{\kappa}^{\epsilon} = 39,546 h_{\delta}^{-0,9157}$; $R^2 = 0,9923$ при $Q_{\kappa}^{n.u} = 1$ млн. м³/рік; крива 2 - $Q_{\kappa}^{\epsilon} = 150,19 h_{\delta}^{-0,9978}$; $R^2 = 0,9993$ при $Q_{\kappa}^{n.u} = 3$ млн. м³/рік; крива 3 - $Q_{\kappa}^{\epsilon} = 256,38 h_{\delta}^{-1,0058}$; $R^2 = 0,9993$ при $Q_{\kappa}^{n.u} = 5$ млн. м³/рік; крива 4 - $Q_{\kappa}^{\epsilon} = 344,13 h_{\delta}^{-0,9913}$; $R^2 = 0,9997$ при $Q_{\kappa}^{n.u} = 7$ млн. м³/рік. Залежності, наведені на рис. 2 описуються ступеневими рівняннями виду: крива 1 - $Q_{\kappa}^{\epsilon} = 86,69 h_{\delta}^{-0,9864}$; $R^2 = 0,9984$ при $Q_{\kappa}^{n.u}$

= 3 млн. м³/рік; крива 2 - $Q_k^e = 56,832 h_d^{-0,985}$; $R^2 = 0,9956$ при $Q_k^{n.u} = 2$ млн. м³/рік; крива 3 - $Q_k^e = 23,364 h_d^{-0,8204}$; $R^2 = 0,9909$ при $Q_k^{n.u} = 1$ млн. м³/рік; крива 4 - $Q_k^e = 24,514 h_d^{-0,8825}$; $R^2 = 0,9922$ при $Q_k^{n.u} = 3$ млн. м³/рік; крива 5 - $Q_k^e = 22,952 h_d^{-1,0786}$; $R^2 = 0,9985$ при $Q_k^{n.u} = 2$ млн. м³/рік; крива 6 - $Q_k^e = 16,189 h_d^{-1,2587}$; $R^2 = 0,9876$ при $Q_k^{n.u} = 1$ млн. м³/рік.

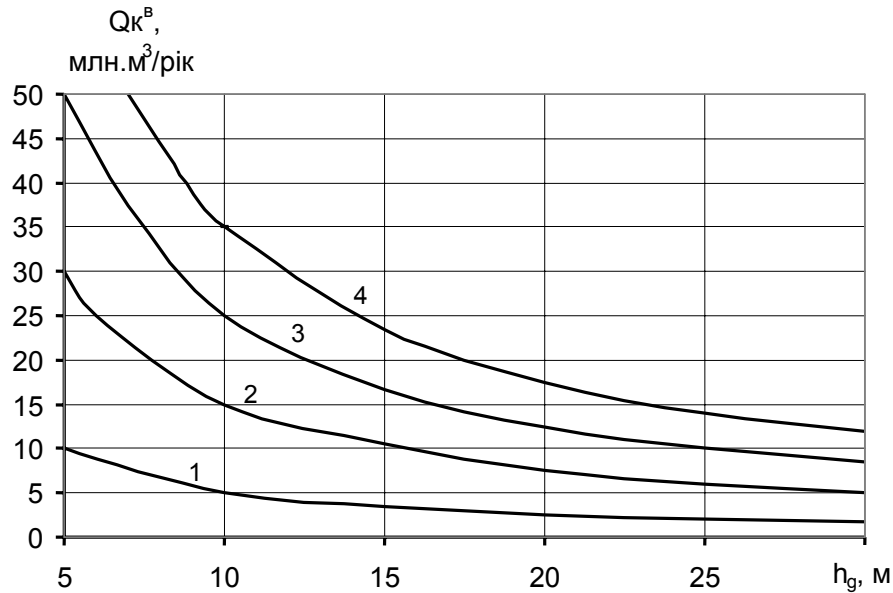


Рис. 1. Графіки залежності продуктивності кар'єру по розкриву від потужності рудного шару при $H_b = 50$ м

По встановленій величині Q_k^e , що відповідає річній продуктивності екскаватора-драглайна ($Q_{эш}$), визначається його тип по ємності ковша (рис. 3) і технічно можливому максимальному радіусі його розвантаження $R_{p.техн.}$ (рис. 4).

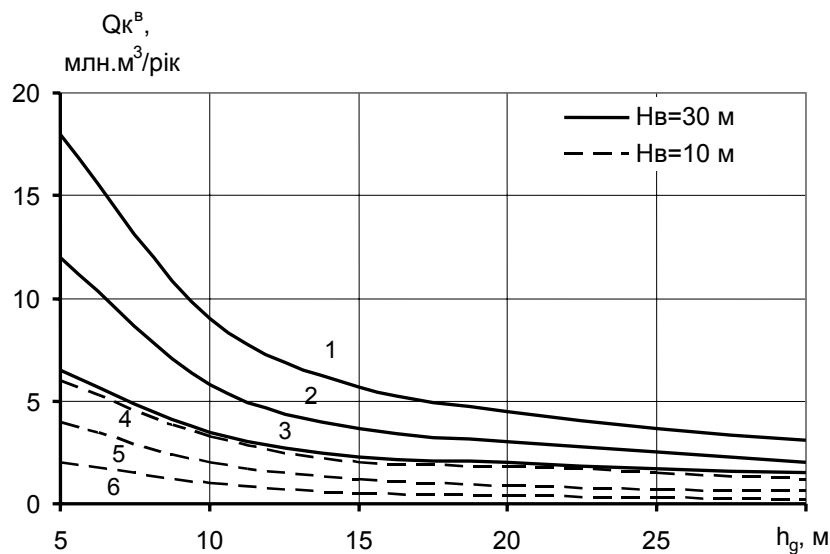
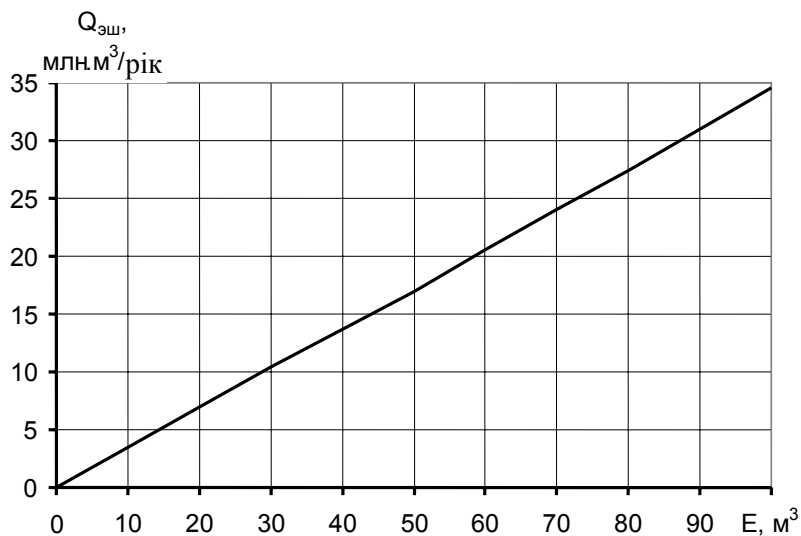


Рис. 2. Графіки залежності продуктивності кар'єру по розкриву від потужності рудного шару при $H_b = 10-30$ м

Річна продуктивність екскаваторів розрахована виходячи з максимально можливого числа робочих змін. Розрахункові значення $Q_{\text{эш}}$ і технічно можливий діапазон зміни величини радіуса розвантаження $R_{p.\text{техн.}}$ установлені з урахуванням даних заводів-виробників.



$$Q_{\text{эш}} = 0,3435 \cdot E + 0,0067; R^2 = 0,9999$$

Рис. 3. Графік залежності продуктивності екскаватора-драглайна від ємності ковша

Високим технічним рівнем володіють екскаватори-драглайни виробництва ВАТ «Уралмаш», які відрізняються від машин аналогічного класу інших закордонних виробників зниженим на 20 – 25 % тиском на ґрунт, і меншою вартістю. Основні технічні (вихідні й розрахункові) характеристики модифікацій екскаваторів виробництва ВАТ «Уралмаш» представлені в табл. 1.

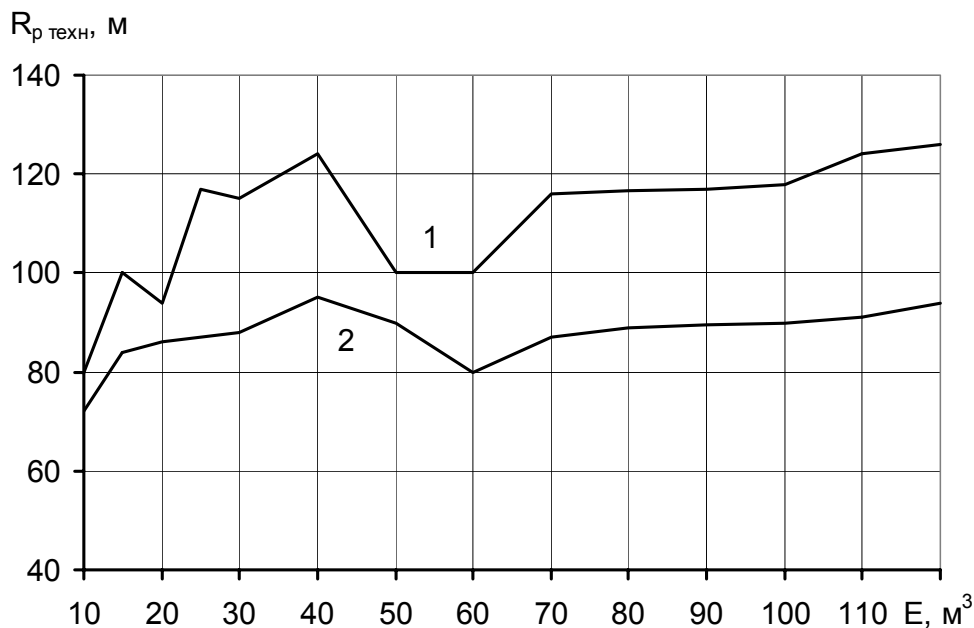


Рис. 4. Графіки діапазону зміни технічно можливих радіусів розвантаження екскаваторів-драглайнів від ємності ковша

Технічні характеристики екскаваторів-драглайнів

№ п/п	Тип екскаватора	Тривалість роб. циклу, с	Розрахункова продуктивність, м ³ /год	Розрахункова річна продуктивність, млн. м ³	Радіус розвантаження, м
1	ЕШ-10/70	55	523	3,76	66,5
2	ЕШ-11/75	54	586	4,22	72,0
3	ЕШ-10/100	60	480	3,50	91,5
4	ЕШ-15/90	63	685	4,93	83,2
5	ЕШ-15/110	64	675*	4,86	99,0
6	ЕШ-20/90	60	965	6,95	83,0
7	ЕШ-20/100	62	940	6,85	91,0
8	ЕШ-25/90	60	1200*	8,64	83,5
9	ЕШ-25/120	66	1090	7,85	117,7
10	ЕШ-30/110	64	1440*	10,4	103,3
11	ЕШ-40/100	60	1920	13,8	94,8
12	ЕШ-40/130	62	1880*	13,0	123,0
13	ЕШ-65/100	60	3120	22,5	97,6
14	ЕШ-100/125	60	4800	34,6	118,0

Установлена величина максимального радіусу розвантаження по технічних можливостях ($R_{p.max}$) зіставляється з необхідним радіусом розвантаження по технологічних особливостях безтранспортної системи розробки ($R_{p'.max}$), розрахункові значення якого наведені на рис. 5 для діапазону зміни потужності розкриття $H_g = 10 - 50$ м, що відповідає умовам родовищ Іршанського ГЗК й Вільногірського ГМК. Залежності описуються лінійними рівняннями, що мають вигляд: лінія 1 - $R_{p.max} = 1,4686 h_g + 46,467$; $R^2 = 0,9986$ при $H_g = 10$ м; лінія 2 - $R_{p.max} = 1,4457 h_g + 95,2$; $R^2 = 0,9988$ при $H_g = 30$ м; лінія 3 - $R_{p.max} = 1,2229 h_g + 137,27$; $R^2 = 0,9983$ при $H_g = 50$.

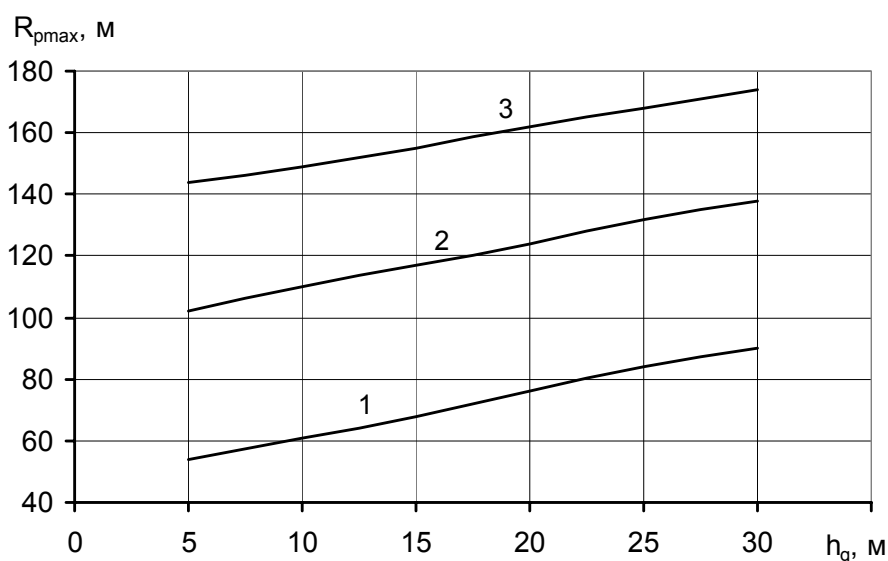


Рис. 5. Графіки залежностей максимального радіусу розвантаження екскаватора-драглайна (необхідного по технічним особливостям БСР) від потужності рудного пласта та розкриття

Для умов кар'єрів Іршанського ГЗК при потужності розкриття (H_0), та рудного шару (h_0) рівним 10 м і виробничій потужності кар'єру $Q_k^{n.u} = 1$ млн. м³/рік необхідний екскаватор-драглайн такої ж продуктивності (див. рис. 2) з ємністю ковша до 5 – 6 м³ (див. рис. 3) при необхідному радіусі розвантаження $R_{p.max} = 60$ м (див. рис. 5) за умовами застосування простої БСР.

Використовуючи аналогічну послідовність визначення технологічної схеми БСР і раціонального типу драглайна (рис. 2 – рис. 3 – рис. 4 – рис. 5), встановлено, що для умов, коли потужність розкриття H_0 досягає 30 м, а $Q_k^{n.u} = 1$ млн. м³/рік ефективним є застосування простої БСР, та раціонально буде використання екскаваторів ЕШ-10/70, або ЕШ-11/75.

Умови розробки родовищ Вільногірського ГМК відрізняються від розглянутих вище. При потужності розкриття $H_0 = 50$ м, рудного шару $h_0 = 10 - 15$ м, і виробничій потужності кар'єру $Q_k^{n.u} = 5$ млн. м³/рік для застосування БСР необхідні екскаватори-драглайни з ємністю ковша $E = 70 - 80$ м³ (див. рис. 3), при цьому продуктивність кар'єру по розкриттю буде становити 25 млн. м³/рік (див. рис. 1). Такими екскаваторами можуть бути ЕШ-65/100, ЕШ-80/100, ЕШ-100/125, у яких діапазон $R_{p.max} = 85 - 115$ м, що недостатньо для застосування простої БСР, оскільки необхідний радіус розвантаження по технологічним умовам становить $R_{p.max} = 150$ м. В такому разі, необхідно застосовувати ускладнену БСР із використанням двох або трьох екскаваторів зазначених модифікацій залежно від необхідної величини стійкого результуючого кута укосу відвала $\beta_{рез}$.

Розрахунками встановлено, що при $\beta_{рез} = 20 - 25^\circ$ може застосовуватися ускладнена БСР із використанням 2-х екскаваторів: ЕШ-80/100 і ЕШ-40/125 при коефіцієнті переекскавації $K_n = 0,5$. При $\beta_{рез} = 16 - 19^\circ$ буде потрібно ще один екскаватор ЕШ-40/125.

У наш час перехід на технологічні схеми ускладненої БСР не ефективно по економічним факторам. При застосуванні селективного видобутку рудного шару ($h_0 = 10 - 15$ м) може бути рекомендована технологічна схема, при якій розробка 2-х надрудних розкриттєвих уступів комплексами (ЕКГ-10 + автосам.) повністю або частково замінюється простою БСР. При повній заміні буде потрібно застосування екскаватора ЕШ-15/110, а при частковій (один уступ) – ЕШ-11/75.

Висновки. Вперше встановлено такі залежності:

- продуктивності кар'єру по розкриттю від потужності рудного шару й виробничій потужності кар'єру;
- продуктивності екскаватора-драглайна від ємності ковша;
- максимального радіусу розвантаження екскаватора-драглайна (необхідного по технічним особливостям БСР) від потужності рудного пласта та розкриття.

Встановлені залежності дозволяють проводити вибір ефективної технологічної схеми безтранспортної системи розробки і раціонального типу екскаватора-драглайна.

Список літератури

1. Новожилов М.Г., Эскин В.С., Корсунский Г.Я. Теория и практика открытой разработки горизонтальных месторождений.- М.: Недра, 1978.- 328 с.
2. Теория и практика бестранспортной системы разработки месторождений /М.Г. Новожилов, В.С. Эскин, Г.Я. Корсунский. – К.: Вища школа, 1973.-208 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.
Надійшла до редакції 21.05.09*

НОВА ТЕХНОЛОГІЯ РОЗРОБКИ МУЛЬДОПОДІБНИХ ОБВОДНЕНИХ РОДОВИЩ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ДРАГЛАЙНА У КОМПЛЕКСІ ЗІ СТРІЧКОВИМ КОНВЕЄРОМ

Обоснована эффективность применения шагающего экскаватора в комплексе с ленточным конвейером для разработки мощных обводненных угольных месторождений

Обґрунтована ефективність застосування крокуючого екскаватора у комплексі зі стрічковим конвеєром для розробки потужних обводнених вугільних родовищ

Efficiency of application of a walking dredge in a complex with the tape conveyor for working out powerful water-encroached coal deposits is proved

Вступ. Відомо, що деякі корисні копалини, наприклад, буре вугілля, марганцева руда, бурштин тощо залягають у надрах землі сумісно із потужними перекриваючими їх м'якими різновидами гірських порід у вигляді шарів вуглистих глин, вапняків, діатомітів, пісків тощо. Загальна їх вертикальна потужність може сягати декількох десятків і навіть сотень метрів. Породи ці сильно обводнені. Експлуатація таких родовищ ведеться за поглиблювальною системою розробки із систематичним переміщенням дна кар'єру до низу кар'єрного поля і поступовим посуванням робочих бортів убік непорушеного масиву. Застосування на виймальних роботах потужної важкої техніки на гусеничному, рейковому та колісному ході супроводжується значними просадками під нею поверхні робочих площадок і суттєвим зниженням виробничої продуктивності. Як показує практика, кращі показники виймання різнотипових обводнених гірських порід належать крокуючим екскаваторам-драглайнам, які експлуатують за безтранспортною схемою розробки або ж у комплексі із стрічковими конвеєрами. Використання одного екскаватора для розробки як корисних копалин, так і порід розкриття одним уступом значно поліпшує техніко-економічні показники підприємства [1].

Метою роботи є обґрунтування ефективних параметрів системи розробки м'яких обводнених порід крокуючим екскаватором у комплексі зі стрічковим конвеєром.

Основна частина. Відомий спосіб розробки потужних родовищ із м'якими породами, коли шар корисної копалини відробляють одним уступом за допомогою драглайна, а перекриваючі глини та супіски виймають іншими екскаваторами у комплексі з автомобільним транспортом та системою вибійних, магістральних і відвальних конвеєрів, які розташовують на самостійних уступах [2]. Недоліком такого способу є те, що при такій схемі розташування обладнання корисну копалину і породи розкриття розробляють самостійними уступами з відповідними робочими площадками і гірничо-транспортним обладнанням, що приводить до формування укусу робочого борту кар'єра під кутом не більшим за 10-15°, внаслідок чого виймається підвищений поточний об'єм порід розкриття і збільшується собівартість виробництва.

Найбільш близьким по технологічній суті та досягаємому результату відкритої розробки родовищ із різнотиповими м'якими породами є спосіб розробки

гірських порід одним драглайном у межах одного уступу, коли екскаватор розташовують на його верхній площадці, породи розкриву після виймання розміщують у виробленому просторі, а корисну копалину перевантажують до приймального бункеру пересувного транспортного обладнання [3].

Але при цьому висота уступу обмежена максимальним значенням глибини копання драглайна, а транспортне обладнання не дозволяє переміщувати сумісно породи розкриву і корисні копалини. Така схема розробки потужних родовищ різнотипових порід також характеризується занадто великими поточними об'ємами виймання порід розкриву і може бути реалізована тільки на основному (самому нижньому) уступі в кар'єрі або ж при його незначній глибині.

В основу дослідження поставлено задачу удосконалення способу відкритої розробки родовищ із м'якими обводненими гірськими породами та розрахунку параметрів експлуатації потужних драглайнів у комплексі зі стрічковими конвеєрами, що дає можливість відробки складноструктурних покладів із зниженням значення поточного коефіцієнта розкриву і, за рахунок цього, забезпечення вартості видобувних робіт.

Задача вирішується тим, що розкриття робочих горизонтів ведеться із орієнтацією фронту виймальних робіт від однієї із бокових меж кар'єрного поля до протилежної. Переміщення його до граничного положення, поділення уступів на підступи та почергову відробку різнотипової гірської маси поздовжніми західками виконують екскаватором-драглайном із навантаженням до вибійного багатоланкового стрічкового конвеєру через самохідний бункер-накопичувач. У процесі виймальних робіт уступи формують із трьох підступів шляхом поступового поглиблення гірничих робіт від земної поверхні драглайном з вийманням гірської маси нижнім черпанням і першочерговим формуванням основного уступу на задану глибину. Відробку його першої західки ведуть від пологого виїзду. Багатоланковий стрічковий конвеєр розташовують на верхній площадці другого підступу і навантаження гірської маси здійснюють до нього через самохідний бункер-накопичувач. Після відробки першої західки при переміщенні драглайна у зворотньому напрямку до пологого виїзду виймання гірської маси другою західкою ведуть верхнім черпанням у межах другого підступу. Після її відробки драглайн по пологому виїзду переміщують до гори на покрівлю другого підступу і відробляють верхнім черпанням з неї третю західку третього підступу, а потім у зворотньому напрямку і четверту на цьому ж підступі. При переміщенні драглайна у напрямку від пологого виїзду ланки конвеєра одна за одною поступово перекладають у бік напрямку просування фронту гірничих робіт, після чого драглайн переміщують по пологому виїзду на покрівлю основного підступу і таким чином відпрацьовують уступ. При відробці кожної західки в її нижній площадці формують водовідводну канаву, а воду із неї поступово відкачують насосами на земну поверхню за межі кар'єрного поля.

При цьому зниження поточного об'єму розкриву можливо здобути за рахунок формування більш крутого укосу робочого борту кар'єру уступами із підвищеною висотою, які відробляються одним комплектом драглайна і вибійного багатоланкового стрічкового конвеєра, що забезпечує першочергове роз-

криття основного уступу нижнім черпанням, за рахунок чого забезпечується надійне зневоднення масиву гірських порід у напрямку посування фронту виймальних робіт, підвищена безпека робочого обладнання і значно менший обсяг гірничотранспортних робіт на початковому етапі експлуатації.

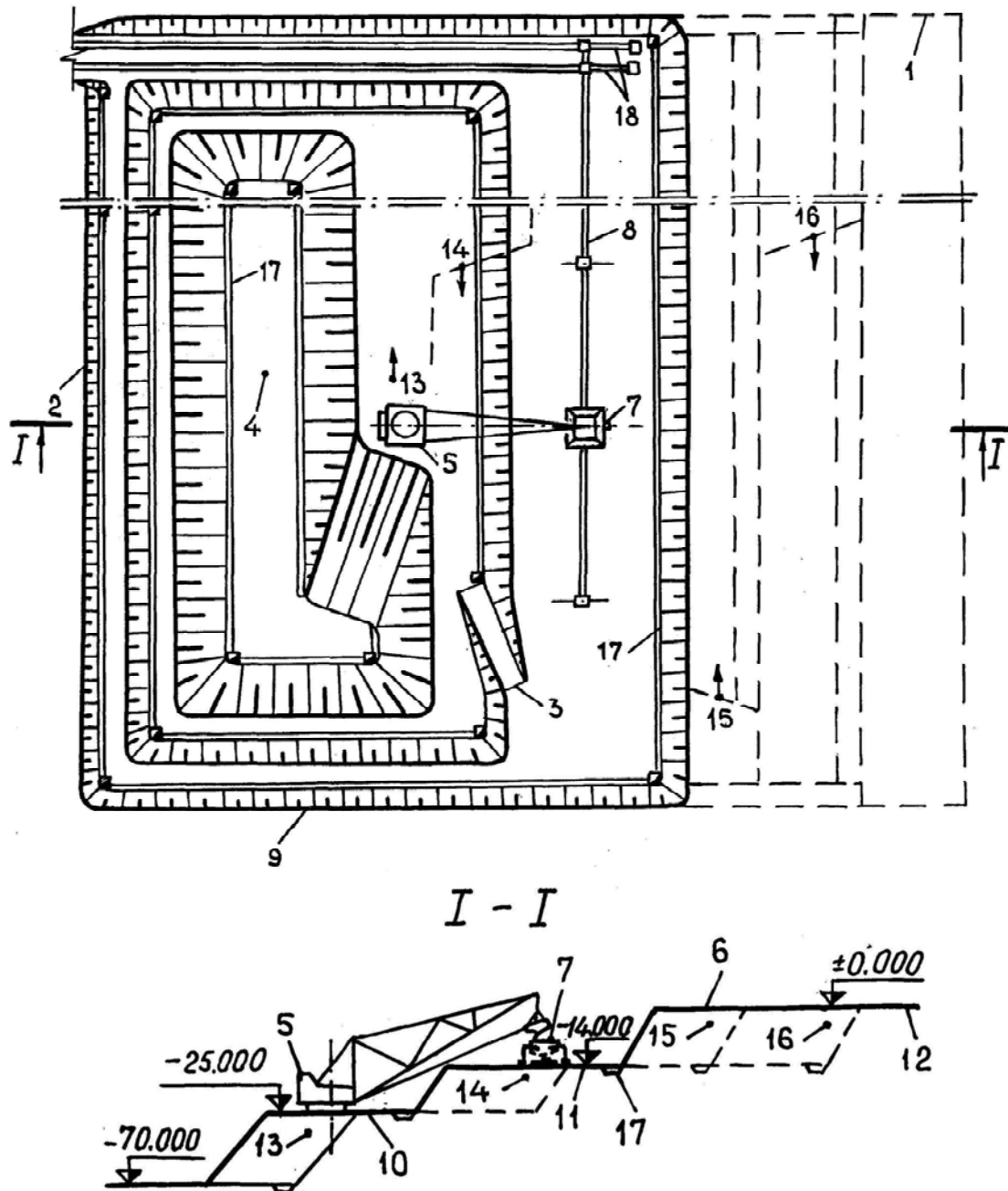


Рис.1. Технологічна схема відкритої розробки родовищ м'яких порід драглайном у комплексі зі стрічковими конвеєрами

На рис.1 позначено: 1 – контури кар'єрного поля; 2 – торець кар'єрного поля, від якого починають гірничі роботи; 3 – пологий виїзд з верхньої площадки нижнього підступу до верхньої площадки середнього; 4 – контур початкової розрізної траншеї; 5 – виймальний екскаватор типу драглайн; 6 – земна по-

верхня; 7 – бункер-накопичувач; 8 – багатоланковий вибійний конвеєр; 9 – бокова межа кар’єрного поля; 10 – нижній основний підступ; 11 – середній підступ; 12 – верхній підступ; 13,14,15 і 16 – відповідно перша, друга, третя і четверта поздовжні виймальні західки; 17 – водовідливна канава; 18 – система магістральних і відвальних стрічкових конвеєрів

Відробку кар’єрного поля 1 починають вести від торця 2 шляхом проведення пологого виїзду 3 початкової розрізної траншеї 4 драглайном, що розроблює м’яку породу нижнім черпанням безпосередньо із земної поверхні 6 і навантажує її до самохідного бункера-накопичувача 7, який переміщується паралельно із драглайном 5 уздовж багатоланкового стрічкового конвеєра 8. Фронт виймальних робіт орієнтують під прямим кутом від торця 2. Робочий уступ формують із трьох підступів: нижнього 10, середнього 11 і верхнього 12, шляхом поступового поглиблення і розширення розрізної траншеї 4. Нижній основний уступ 10 безпосередньо є боковою площиною розрізної траншеї, яку посувають у напрямку від торця 2. Її розширення здійснюють першою поздовжньою західкою 13 із навантаженням породи драглайном 5 до бункера-накопичувача 7, який сумісно із стрічковим конвеєром 8 розташовують на верхній площадці середнього підступу 11. Висота його приймається за умовою продуктивного верхнього навантаження породи драглайном 5 при проведенні першої західки 13 уздовж нижнього уступу 10.

Після відробки західки 13 драглайн 5 у зворотньому напрямку відпрацьовує західку 14 середнього підступу 11 з верхнім навантаженням породи до бункера-накопичувача 7, із кінцевого її положення нарощує пологий виїзд 3, підіймається на верхню площадку середнього підступу 11 і відроблює третю поздовжню західку 15 верхнім черпанням із навантаженням породи до бункера-накопичувача 7. Із кінцевого положення західки 15 драглайном 5 у зворотньому напрямку верхнім черпанням відробляють четверту поздовжню західку 16 із навантаженням породи до бункера-накопичувача 7 і після її завершення драглайн переміщують по пологому виїзду 3 в початкове положення на верхній площадці нижнього підступу 10. Різноманітні породи драглайном 5 почергово навантажують до бункера-накопичувача 7 і стрічковим конвеєром 8 транспортують до системи відповідних конвеєрів 18 і далі ними до місця призначення.

При переміщенні драглайна 5 у напрямку від пологого виїзду 3 ланки стрічкового конвеєра 8 одна за одною поступово перекладають у бік напрямку посування фронту гірничих робіт. При відробці кожної із західок 13,14,15 і 16 в їх нижніх площадках поблизу від укосів драглайном 5 формують водовідвідні канали 17, воду із яких поступово відкачують на поверхню 6 за межі кар’єрного поля.

Запропонований спосіб відкритої розробки потужних родовищ різноманітних обводнених м’яких порід дозволяє запобігти вийманню значних об’ємів порід розкриву в початковому періоді розробки кар’єрного поля і отримати велику економію матеріальних і грошових витрат, а також підвищити умови безпеки експлуатації крупногабаритного виймально-транспортного обладнання.

Так, при розробці мульдopodobного Ново-Дмитрівського родовища бурого вугілля, яке залягає у соляному штоці до глибини 350 м від земної поверхні і представлено трьома продуктивними пластами із загальною потужністю 130 м, що перекриваються між собою шарами вуглистих глин і кварцового піску, середній коефіцієнт розкриву становить $3,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Родовище практично затоплено водою і може бути введено до експлуатації тільки за умови використання описаної технології із вийманням порід драглайнами, які можуть працювати як нижнім, так і верхнім черпанням у комплексі із стрічковими конвеєрами, завдяки чому робочі уступи зневоднюються і знаходяться у стійкому стані. Для драглайна типу ЕШ-25/90 максимальна глибина черпання нижче рівня знаходження складає 42 м, а при роботі з верхнім черпанням – 14 м. У період розвитку кар'єра до виходу на проектну потужність глибина кар'єру досягне 250 м. При формуванні робочого борту уступами висотою 42 м із шириною робочих площадок 120 м кут укосу борту не перевищує 14° .

Формування уступів згідно описаного вище рішення дозволяє підвищити висоту уступу до 70 м і розробляти його трьома підступами висотою 42, 14 і 14 м відповідно. Така схема розташування обладнання дозволяє збільшити кут робочого борту до 20° , за рахунок чого зменшується крок його посунання по поверхні до значення, що визначається за формулою

$$Z = H(\operatorname{ctg} 20^\circ - \operatorname{ctg} 14^\circ) = 250 \cdot (0,36 - 0,25) = 27,5 \text{ м.}$$

Висновки: при середній довжині фронту виймальних робіт 3000 м об'єм породи, що запобігає першочерговій розробці, становить 10,3 млн. м^3 . При розрахунковій вартості виймання 1 м^3 породи рівному 10,5 грн, загальна економія коштів становить понад 77 млн. грн.. До цього ж бистріше досягнення кінцевої глибини кар'єром на пологих схилах родовища дозволяє застосувати внутрішнє відвалування порід розкриву у виробленому просторі, за рахунок чого можливо відмовитись від порушення земель зовнішнім відвалом. Менша кількість екскаваторів буде експлуатуватись з більшою продуктивністю за рахунок збільшення фронту виймальних робіт.

Список літератури

1. Бизов В.Ф., Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи. – Кривий Ріг: Мінерал.-2004. – 341 с.
2. Сокіл А.М. Проблемы и перспективы комплексного природопользования на Вольногорском горнометаллургическом комбинате /Екологія і природокористування. ІППЕ НАН України, вип. 3. 2001. с. 216-222
3. МПК Е 21 С 41/00 Патент 63460. України / Спосіб відкритої розробки розсипів // В.П. Воловик, А.Ю. Дриженко, В.І. Симоненко та ін. Бюл. №14. 2007.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 21.05.09*

ОЦІНКА ЗМІНИ РІВНЯ ГРУНТОВИХ ВОД ПРИ ПРОСІДАННІ МЕЖ ОБЛАСТІ ФІЛЬТРАЦІЇ НА ШАХТНОМУ ПОЛІ

Встановлені зміни рівня ґрунтових вод в часі при просіданні меж області фільтрації уздовж шахтного поля. Отримані результати дозволяють зробити висновок про те, що просідання ділянки території шахтного поля разом з граничним водотоком призводить до зміни положення рівня ґрунтових вод у вигляді рівномірного його зниження в порівнянні з непорушеним.

Установлены изменения уровня грунтовых вод во времени при просадке границ области фильтрации вдоль шахтного поля. Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что проседание территории шахтного поля вместе с граничным водотоком приводит к изменению положения уровня грунтовых вод в виде равномерного его снижения по сравнению с ненарушенным.

Changes of a level of subsoil waters in time are established at landing borders of area of a filtration along a mine field. The received results allow to draw a conclusion that deflection to territory of a mine field together with a boundary water-drain leads to change of position of a level of subsoil waters in the form of its uniform decrease in comparison with not broken.

Вступ. Зміни процесу фільтрації в підробленому масиві шахтного поля відносяться до ряду домінуючих факторів, що ускладнюють експлуатацію шахт, зокрема, на просідаючій території шахтних полів розвивається гідрогеомеханічний процес, що впливає на положення рівня ґрунтових вод прилеглої території: при просіданні зовнішніх меж (водотоків) і зниженні рівня води в них простежуються зміни рівневого режиму за границями цих меж.

Мета та задачі роботи. Оцінимо формування рівня ґрунтових вод в однорідній товщі, коли відбувається просідання частини області фільтрації разом із зовнішньою межею, розташованою в границях цієї частини. Визначимо положення рівня ґрунтових вод як в несталому, так і в стаціонарному режимі. Для розрахунку несталого режиму ґрунтових вод використовуємо метод кінцевих різниць Г.Н. Каменського [1].

Основний матеріал досліджень. Розглянемо профіль протяжністю $L=1537$ м, що відповідає ширині шахтного поля в межиріччі р. Самара (№1) і р. Тернівка (№2), складений однорідним піском з коефіцієнтом фільтрації $k = 5,9$ м/добу і водовіддачею $\mu = 0,125$ (Рис.1). У умовний момент часу $t = 0$ відбувається просідання ділянки поверхні землі протяжністю $l_p = 768$ м, прилеглого до ріки № 1. Величина поверхні, що просіла, складає 2 м.

Одночасно опускається частина ріки № 1, що потрапляє в зону просідання. Рівень води в річці на цій ділянці штучно підтримується нижче за первинний на величину просідання. Глибина залягання рівня від поверхні землі на профілі перевищує висоту капілярного підняття, завдяки чому витрата води на випаровування не змінюється. При просіданні земної поверхні і одночасному опусканні ріки № 1 відбувається опускання рівня ґрунтових вод в зоні просідання і випаровування не збільшується.

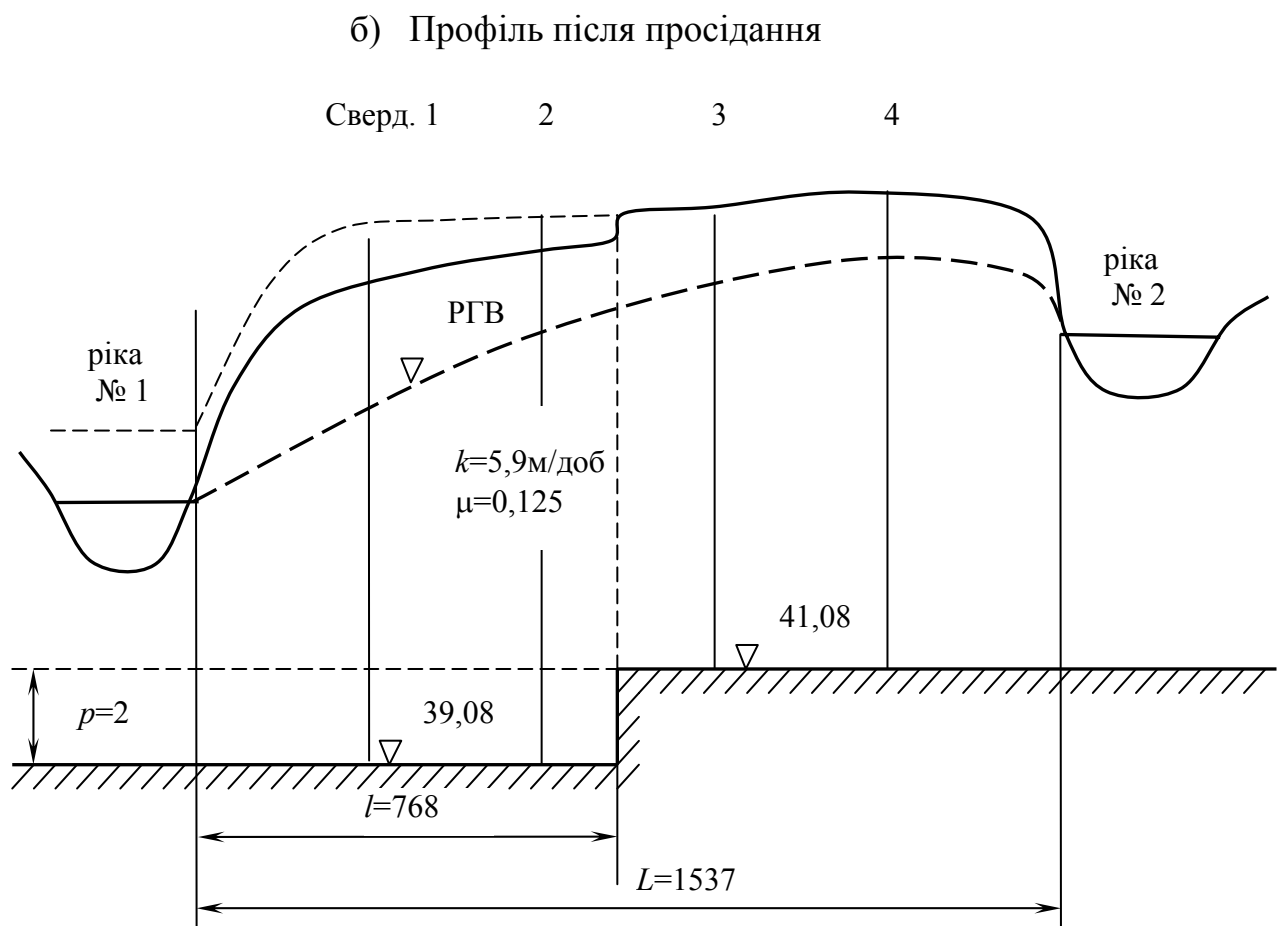
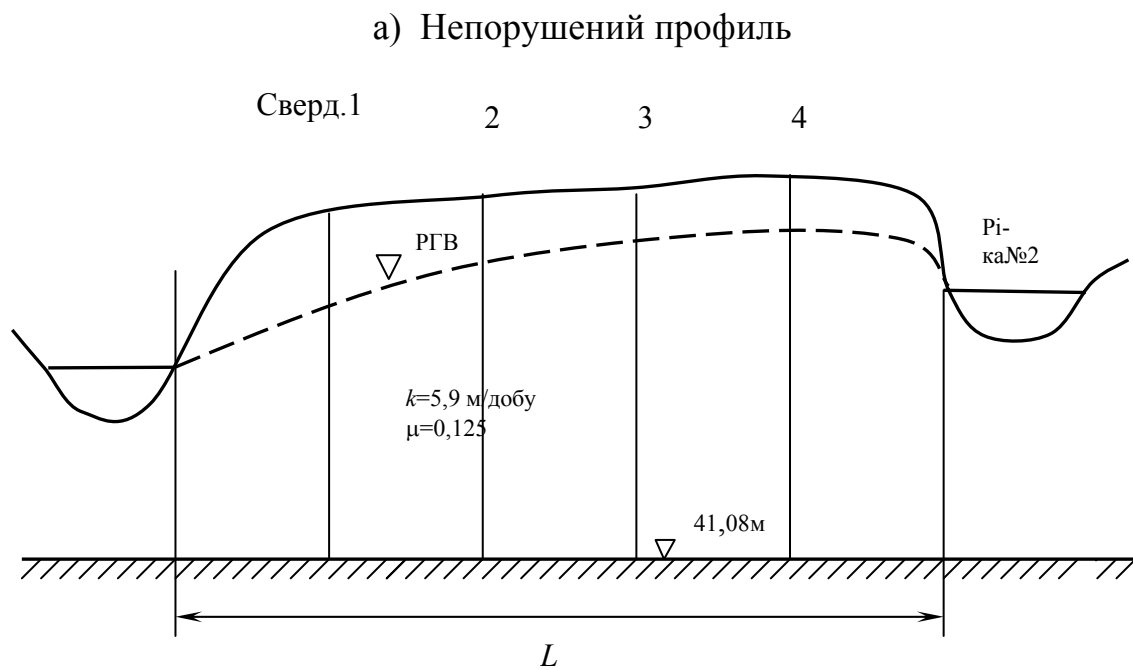


Рис. 1. Схема до розрахунку впливу просідання меж області фільтрації на формування рівня ґрунтових вод: а) Непорушений профіль, б) Профіль після просідання

Одночасне опускання рівня води в річці № 1 і площини водоупору (рис.1) зберігається потужність водоносного горизонту в цьому перетині. Положення рівня ґрунтових вод в свердловинах №№ 1, 2, 3, 4 розрахункового профілю визначається за формулою

$$h_2'' = h_2' + \frac{2kh\Delta t}{\mu\Delta x^2} \left(\frac{h_1 + h_3}{2} - h_2 \right) + \frac{W}{\mu} \Delta t, \quad (1)$$

де Δt і Δx - розрахункові кроки за часом і у просторі; W - інтенсивність інфільтрації; h_1, h_3, h_2 - потужність зводненої товщі в верхньому, нижньому та середньому розрахунковому перетинах; h_2', h_2'' - потужність зводненої товщі в середньому розрахунковому перетині на попередній та послідуочий моменти часу.

Можна прийняти

$$\frac{2kh\Delta t}{\mu\Delta x^2} = 1,$$

тоді отримаємо простіший вираз

$$h_2'' = h_2' - h_2 + \frac{h_1 + h_3}{2} + \frac{W}{\mu} \Delta t. \quad (2)$$

При малій величині Δt в порівнянні із загальним періодом можна допустити, що $h_2 = h_2'$ і $h_1 + h_3 = h_1' + h_3'$. Прийнемо потужність водоносного горизонту на початковий період, а не на середній момент часу. В цьому випадку рівняння (2) приймає вигляд

$$h_2'' = \frac{h_1 + h_3}{2} + \frac{W}{\mu} \Delta t. \quad (3)$$

Рівняння (3) дозволяє розрахувати зміну депресивної поверхні ґрунтових вод при просіданні однієї з меж області фільтрації. Розрахунки рівня ґрунтових вод виконаємо на основі даних табл.1

Таблиця 1

Дані про початкове положення рівня ґрунтових вод
на просідаючій поверхні

Перетин	Відстань від річки, м	Абсолютна відмітка рівня, м	Потужність водоносного шару, м
Ріка 1	0	51,70	10,62
Сверд. 1	100	51,92	10,84
Сверд. 2	409	52,22	11,14
Сверд. 3	721	52,57	11,49
Сверд. 4	1237	52,75	11,57
Ріка 2	1537	52,91	11,80
середнє			11,43

Водоупор можна прийняти горизонтальним, розташованим на відмітці 41,08м .

Величина інфільтрації приймається рівною нулю , що дозволяє спростити розрахунки. Вибір кроків за часом Δt і просторі Δx здійснюється таким чином. Визначивши середнє значення потужності водоносного шару $h = 11,43$ м і прийнявши $\Delta t = 60$ діб, отримаємо із допущення до формули (2), що $\Delta x = 103,4$ м .

Розрахунки зміни рівня ґрунтових вод виконані на період 18 місяців, оскільки до цього моменту відбувається його стабілізація. На рис.2 представлені розрахункові криві на декілька моментів часу.

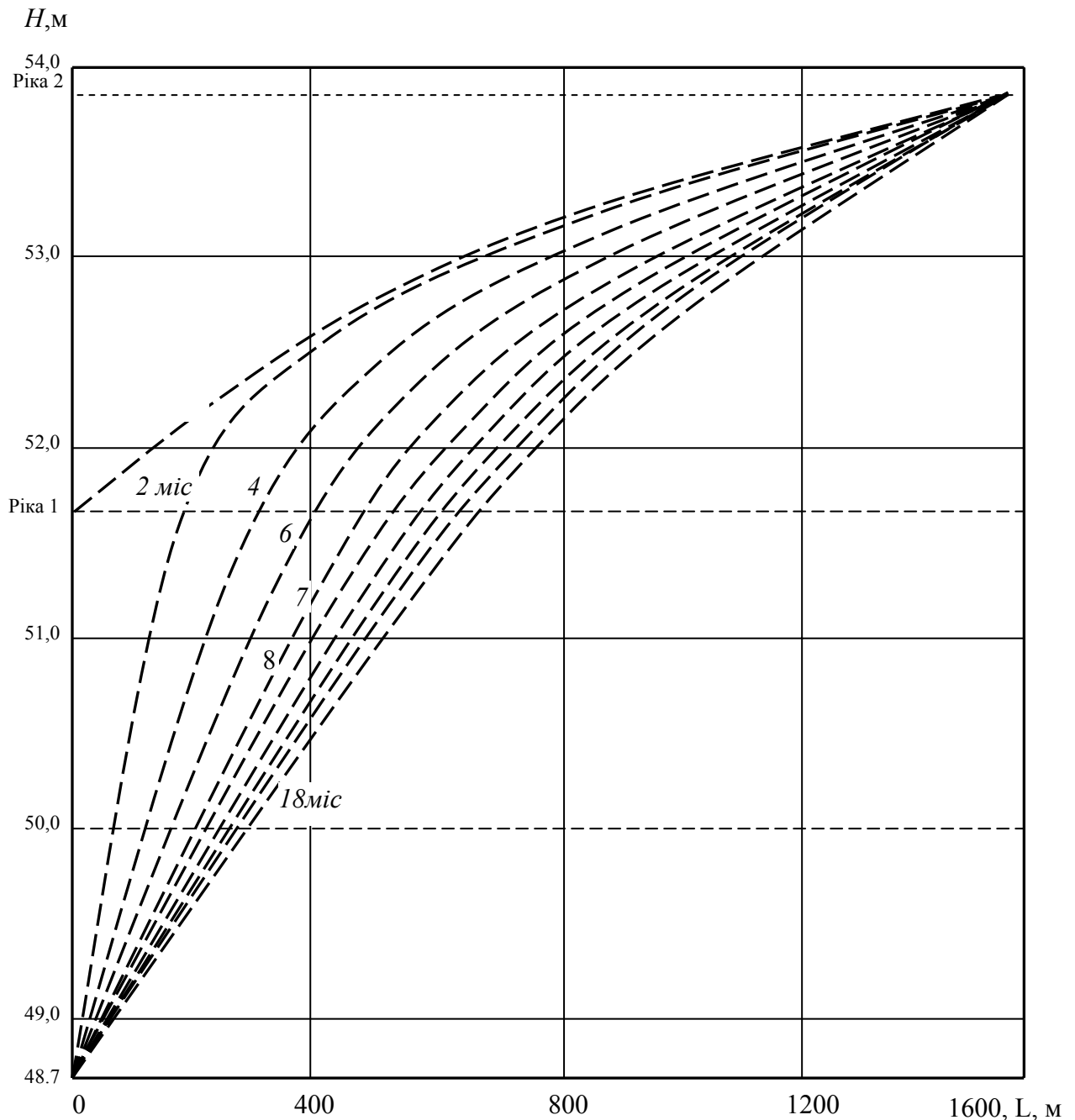


Рис. 2. Зміна рівня ґрунтових вод (H) в часі при просіданні меж області фільтрації уздовж шахтного поля (L)

Розрахунки стаціонарного положення рівня ґрунтових вод по координаті x проводилися по відомій формулі

$$h = \sqrt{h_0^2 - ix(h_0 - 0,25ix) - 2\frac{q}{k}x}, \quad (4)$$

де $i = H_0 - \frac{H_z}{z}, \quad q = k \frac{h_0 + h_z}{2} \cdot \frac{H_0 - H_z}{z}.$

h_0, H_0, h_z, H_z - потужності і відмітки рівня водоносного горизонту відповідно в початковому і розрахунковому перетинах.

Висновок. Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок про те, що просідання частини території шахтного поля разом з граничним водотоком, в якому підтримується пониження рівне величині просідання приводить до зміни положення рівня ґрунтових вод, у вигляді рівномірного його зниження в порівнянні з непорушеним. При цьому зниження рівня найбільше у межі, що просіла, рівномірно зменшується у напрямі непросідаючої межі, завдяки чому поверхня ґрунтових вод має звичайну форму.

Формування стаціонарної поверхні ґрунтових вод відбувається досить швидко і до 8...10 місяців досягається її стабілізація. Таким чином, при виконанні прогнозів змін гідрогеологічної обстановки на просідаючих територіях шахтних полів цілком правомірно спиратися на відповідні розрахунки стаціонарної фільтрації.

Список літератури

1. Гавіч І.К. Гидрогеодинамика. - М.: Надра, 1988. - 347 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бондаренком В.І.
Надійшла до редакції 08.04.09*

УДК 622.235.535

© В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, А.М. Пасечник, Н.И. Жукова

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИНАМИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СЕЙСМОВЗРЫВНЫХ ВОЛН С КАРСТОВОЙ ПОЛОСТЬЮ

Разработана компьютерная модель и решена задача динамического взаимодействия сейсмовзрывных волн с карстовой полостью. Установлены аналитические выражения для процесса взаимодействия ударных волн с границей раздела сред на основе лучевых рядов.

Розроблено комп'ютерну модель і вирішено задачу динамічної взаємодії сейсмовибрових хвиль з карстовою порожниною. Встановлено аналітичні вирази для процесу взаємодії ударних хвиль з межею розподілу середовищ на основі променевих рядів.

A computer model is developed and the task of dynamic interaction between seismic and explosion waves and a cavity is solved. Analytical expressions for the process of co-operation between shock waves and the board section of environments on the basis of radial rows are set.

Введение. При решении задач горной сейсмики и анализе динамического поведения различных полостей и горных выработок при действии промышленных взрывов, горных ударов и землетрясений актуальными являются вопросы математического моделирования явлений отражения и преломления нестационарных волн на поверхностях раздела пород с различными механическими свойствами [1,2]. Это особенно важно для разработки практических рекомендаций по сейсмобезопасному ведению взрывных работ в закарстованных месторождениях полезных ископаемых [3,4]. Высокие значения градиентов полей напряжений и деформаций на фронтах этих волн затрудняют применение для их описания традиционных аналитических и численных методов, что обуславливает необходимость построения их профилей в классе разрывных функций. При таком подходе является эффективным применение лучевых методов, позволяющих путем использования этого метода получить достаточно точное решение в прифронтных зонах волны. В этих случаях уравнение пути, пройденного волной, описывает поверхность фронта волны, нулевой член определяет величину разрыва определяющих функций, а остальные члены ряда описывают изменение давления за фронтом. Для нестационарной волны можно ограничиться учетом лишь нулевого члена ряда и определять переносимый волной импульс. Тогда, представляется возможным упростить задачу и применять приемы, используемые в стереомеханической теории удара и базирующихся на общей теории динамики. Такая методика может быть использована для исследования отражения волн от карстовых полостей и горных выработок в горных породах, инициированных взрывами или горными ударами [6-8].

Целью работы является разработка алгоритма процесса влияния динамических нагрузок от сейсмовзрывных волн на устойчивость полостей на границе раздела сред с помощью компьютерного моделирования.

Результаты исследований и их обсуждение. Колебания упругой породы можно выразить волновыми уравнениями, одно из которых скалярное

$$c_1^2 \nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} - \Phi, \quad (1)$$

другое – векторное

$$c_2^2 \nabla^2 \vec{\psi} = \frac{\partial^2 \vec{\psi}}{\partial t^2} - \vec{\Psi}, \quad (2)$$

для чего потенциал запишем в виде $\psi = \psi_k q$, где $q = \vec{q}$ – перпендикулярный плоскости решения единичный вектор.

Выразим волновые потенциалы в виде лучевых рядов

$$\Phi(x, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\varphi_k [t - \tau]^{k+2}}{(k+2)!}; \quad \psi(x, t) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\psi_k q [t - \vec{\tau}]^{k+2}}{(k+2)!}, \quad (3)$$

где x - радиус-вектор; $\varphi = \varphi_k(x)$; $\psi_k = \psi_k(x)$; $\tau = \tau(x)$; $\vec{\tau} = \vec{\tau}(x)$ - соответственно функции от x скалярного, векторного потенциалов и периода воздействия волн.

В (3) предполагается, что правые части домножены на $H(t - \tau)$ для P -волны и на $H(t - \vec{\tau})$ - для S -волны, где $H(t)$ - функция Хевисайда.

Подставляя (3) в (1) и (2) и приравнявая нулю коэффициенты перед одинаковыми степенями $(t-\tau)$ и $(t-\bar{\tau})$, получаем определяющие функции τ и $\bar{\tau}$ уравнения пути, пройденного волной:

$$(\nabla \tau)^2 = 1/\alpha^2; \quad (\nabla \bar{\tau})^2 = 1/\beta^2 \quad (4)$$

и уравнения переноса:

$$\begin{aligned} 2(\nabla \tau)(\nabla \varphi_k) + \varphi_k \nabla^2 \tau &= \nabla^2 \varphi_{k-1}; & (0 \leq k < \infty) \\ 2(\nabla \bar{\tau})[\nabla (\psi_k q)] + (\psi_k q) \nabla^2 \bar{\tau} &= \nabla^2 (q \psi_{k-1}), \end{aligned} \quad (5)$$

где $\varphi_k=0$, $\psi_k=0$ при $k<0$.

Решения нелинейных уравнений с частными производными первого порядка приводятся к решению системы обыкновенных дифференциальных уравнений в виде:

$$dp/ds=0; \quad dx/ds=p; \quad d\tau/ds=|p|^2. \quad (6)$$

Ее решение представляется в форме

$$x=n\bar{\xi}+f; \quad \tau=\bar{\xi}/\alpha; \quad \nabla \tau=n/\alpha, \quad (7)$$

где $n=\bar{n}$ - единичный вектор нормали к поверхности фронта; $f=\bar{f}$ - вектор, определяющий очертания фронта в начальном состоянии; $\bar{\xi}$ - длина луча. Последний определяет семейство прямолинейных лучей $x(s)$ и ортогональных к ним волновых фронтов при $\tau=const$. Аналогичное решение имеет место и для S -волны.

Решение уравнений переноса (5) удобно строить в ортогональной криволинейной лучевой системе координат, образованной лучами и фронтами P -волн. Будем считать, что взрывы генерируют плоские волны, поэтому обратимся к случаю осесимметричных плоских волновых фронтов. Тогда при $k=0$ из (5) следует:

$$\frac{2\partial \varphi_0}{\partial \xi} + \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{S}\right) \varphi_0 = 0, \quad \frac{2\partial \psi_0}{\partial \xi} + \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{S}\right) \psi_0 = 0, \quad (8)$$

где R и S – расстояния волновых фронтов в плоскости, перпендикулярной оси карстовой или искусственной полости. Уравнения (8) перепишем в виде

$$\frac{\partial(RS\varphi_0^2)}{\partial \xi} = 0; \quad \frac{\partial(RS\psi_0^2)}{\partial \xi} = 0. \quad (9)$$

Тогда

$$\varphi_0 = \pm \sqrt{c_0(\gamma)/RS}; \quad \psi_0 = \pm \sqrt{\bar{c}_0(\gamma)/RS}. \quad (10)$$

Входящие в эти равенства константы $c_0(\gamma)$, $\bar{c}_0(\gamma)$ зависят от координаты y , определяющей положение точки фронта в его меридиональном сечении. Подставив (10) в правые части уравнений (5) и проинтегрировав их, можно найти φ_1 и ψ_1 , а затем φ_2 и ψ_2 и так далее.

При определении переносимого на фронте волны ударного импульса можно считать, что профили функций тензоров напряжений $\sigma(\xi)$, $\bar{\sigma}(\xi)$ P - или S -волны являются прямоугольными ступеньками со средней длиной основания $\Delta \bar{\xi}$.

Для описания таких функций в (3) необходимо удерживать только по одному первому члену ряда с индексом $k=0$ и функции $\sigma(\xi)$, $\bar{\sigma}(\xi)$, вычисляя с помощью соотношений:

$$\begin{aligned}\sigma &= 2\mu(\varphi_0 \nabla \tau \nabla \tau) + \lambda \varphi_0 / \alpha^2; \\ \bar{\sigma} &= \mu(\nabla \bar{\tau} \nabla \bar{\tau}) + \mu [\nabla \bar{\tau} (\varphi_0 q) \nabla \bar{\tau}].\end{aligned}\quad (11)$$

Сопоставление равенств (10) и (11) позволяет заключить, что при распространении вдоль лучей разрывов σ и $\bar{\sigma}$ на фронте ударной волны (УВ) их значения изменяются так:

$$\sigma = C(\gamma) / \sqrt{RS}; \quad \bar{\sigma} = \bar{C}(\gamma) / \sqrt{RS}, \quad (12)$$

где $C(\gamma)$, $\bar{C}(\gamma)$ - некоторые, определяемые из начальных условий, тензоры второго ранга.

В настоящее время нет универсальной методики полного исследования динамики взрывных волн в упругих породах. Комплекс разработанных программ предназначен для исследования распространения в изотропных упругих породах УВ и взаимодействия их с границами раздела. Он основан на применении описанного выше нулевого приближения лучевого метода, позволяющего строить геометрию фронтов поперечных и продольных волн, отраженных и проникающих через граничные поверхности, разделяющие изотропные упругие среды с разными механическими свойствами, а также определять дополнительные напряжения в прифронтовых зонах [5].

Возможность учета взаимодействия УВ с плоским и осесимметричным фронтом при прохождении через граничную поверхность, разделяющую упругие среды с различными свойствами, а также упругую среду от жидкой или свободной поверхности можно реализовать с помощью компьютерного моделирования.

Функциональное назначение программ вычислительной системы включает в себя следующие процедуры для отраженных P - и S -волн, проникших P - и S -волн: ввод исходных данных и их автоматический контроль; построение лучей и фронтов падающей волны; определение значений напряжений на фронтах падающей волны; обработку результатов вычислений, вывод их на печать в виде таблиц и графиков, вывод результатов вычислений на экран дисплея.

Исходными данными для проводимых расчетов являются следующие параметры: i - количество слоев упругих сред; E_i , ρ_i и ν_i - модуль упругости, плотность и коэффициент Пуассона материала каждой среды; $\dot{u}_0$ - значение скорости частицы материала на фронте УВ, инициированной в сферической полости радиуса ξ , h_i - толщина i -го слоя (рис.1, блок 1).

Для каждого из слоев в блоке 2 определяются скорости распространения продольной и поперечной волн по формулам:

$$\alpha = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}; \quad \beta = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}.$$

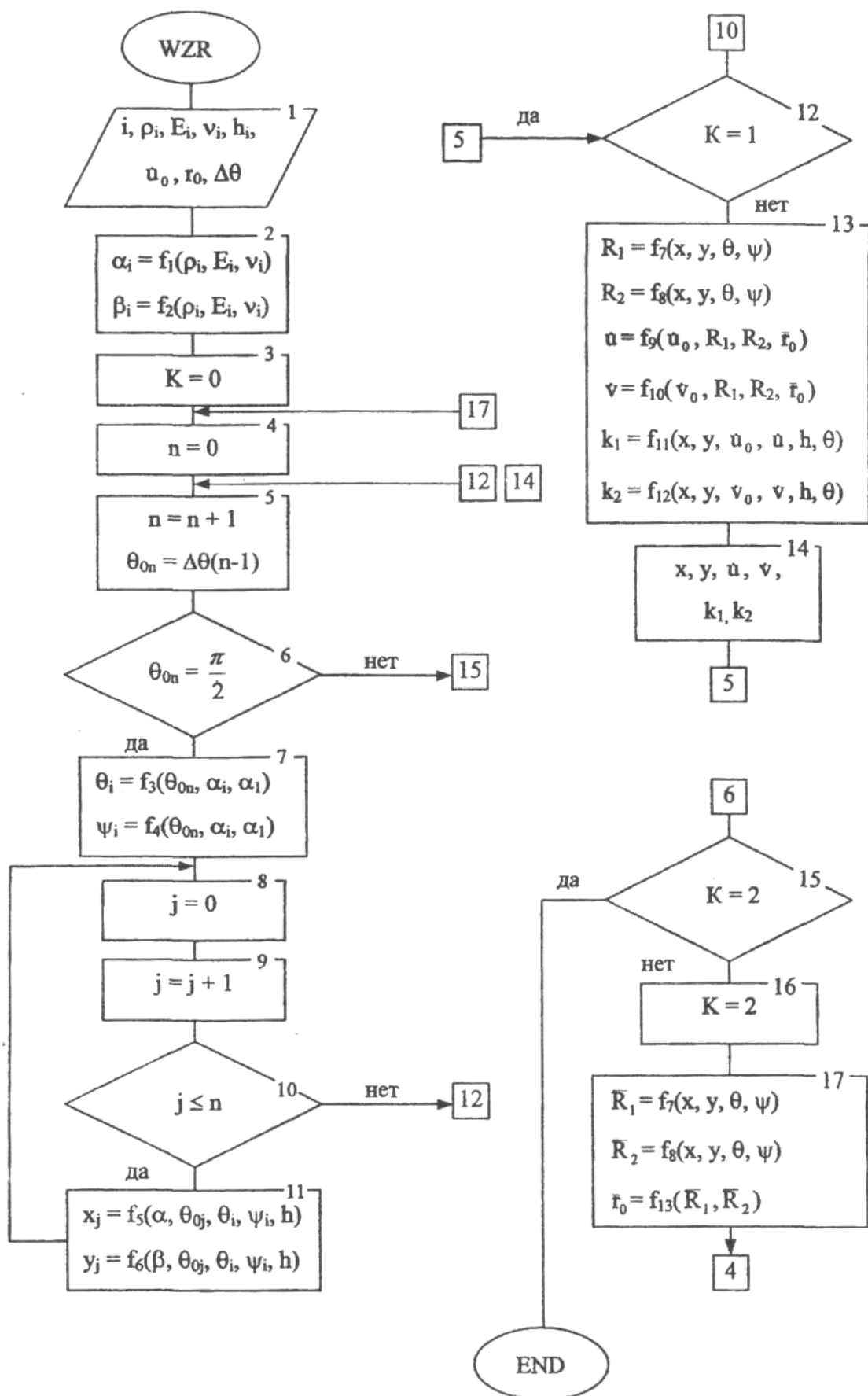


Рис. 1. Блок-схема численного моделирования распространения УВ в слоистых средах

При рассмотрении осесимметричных волн, представляется возможным сократить трудоемкость вычислений, производя построения поверхностей фронтов волны лишь в полуплоскости ее сечения, проходящего через ось симметрии.

При исследовании рассеивания импульсной волны на поверхности карстовой полости используем "локально-плоское приближение", согласно которому можно полагать, что в месте падения волны разделяющая поверхность и фронт являются плоскими, а угол падения волны равен углу между нормальными к соответствующим поверхностям.

Алгоритм решения задачи, реализованный в цикле 3-17 (см. рис. 1), состоит в последовательном построении лучей падающей продольной УВ, начиная от взрыва или сейсмического источника до плоскости раздела пород или контура горной выработки. Углы падения лучей этих волн отличаются с шагом $\Delta\theta$ и находятся в диапазоне $0 < \theta < \pi/2$ (блоки 5, 6). В прямоугольной системе координат Ox, y , где ось Ox направлена вдоль границы раздела сред, а ось Oy проходит через центр карстовой полости и направлена в противоположную сторону от этого центра.

При этом точки падения лучей на границу сред имеют координаты: $y_i = 0$, $x_i = h_i \sin \theta_{0i}$. В каждой точке строится пучок лучей отраженных и проникших волн, как продольных, так и поперечных. Углы между нормальными к границе раздела сред и лучами определяются из соотношения Снеллиуса, которые для изотропных пород имеют вид

$$\frac{\sin \theta_{(1-)}}{\alpha_1} = \frac{\sin \theta_{(1+)}}{\alpha_1} = \frac{\sin \theta_{(2+)}}{\alpha_2} = \frac{\sin \psi_{(1+)}}{\beta_1} = \frac{\sin \psi_{(2+)}}{\beta_2},$$

где θ - углы падения, отражения и преломления для продольных волн; ψ - соответствующие углы для поперечных волн; знаки "-" и "+" соответствуют состояниям до удара и после удара, индекс в скобках - номер среды. В блоке 7 вычисляются следующие углы:

$$\theta_1 = \theta_2; \quad \theta_2 = \arcsin\left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \sin \theta_o\right); \quad \psi_1 = \arcsin\left(\frac{\beta_1}{\alpha_1} \sin \theta_o\right); \quad \psi_2 = \arcsin\left(\frac{\beta_2}{\alpha_1} \sin \theta_o\right). \quad (13)$$

Координаты точек упругих сред, которые принадлежат исследуемым фронтам упругих волн, опирающихся на соответствующие узловые точки границы полостей вычисляются в цикле по номеру луча (блоки 8-11) с помощью формул:

$$x_p = x_0 + \alpha \Delta t_a \sin \theta; \quad y_p = \pm \alpha \Delta t_a \cos \theta; \quad x_s = x_0 + \beta \Delta t_\beta \sin \psi; \quad y_s = \pm \beta \Delta t_\beta \cos \psi,$$

где знак плюс используется для отражённых фронтов, индекс p соответствует продольным волнам, s - поперечным волнам. В этих соотношениях промежутки времени Δt_a , Δt_β для точек, принадлежащих j -му лучу и i -му фронту и равны:

$$\Delta t_a = \frac{h}{\alpha} (\sin \theta_i - \sin \theta_j), \quad \Delta t_\beta = \frac{h}{\beta} (\sin \theta_i - \sin \theta_j).$$

Значения интенсивностей продольных и поперечных УВ в каждой точке их фронтов определяются в блоке 13 по выражениям:

$$\dot{u} = \dot{u}_i \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 R_2}}; \quad \dot{v} = \dot{v}_i \sqrt{\frac{R_1 R_2}{R_1 R_2}},$$

где $R_1=R$ и $R_2=S$ - радиусы кривизны поверхностей фронтов в плоскости Oxy и из этой плоскости, соответственно,

$$R_1 = \frac{(\dot{x}^2 + \dot{y}^2)^{3/2}}{\ddot{x}\ddot{y} - \ddot{y}\ddot{x}}; \quad R_2 = \frac{x}{\sin \theta} \quad \text{или} \quad R_2 = \frac{x}{\sin \psi}. \quad (14)$$

Здесь точкой обозначено дифференцирование по независимой переменной θ для фронта P -волны и по переменной ψ для фронта S -волны. В вычислительном комплексе эти производные подсчитываются с помощью конечно-разностных схем. Так, например, в точке $\theta=\theta_j$ фронта первая формула (14) приводится к виду:

$$R_1(\theta_j) = \frac{[(x_{j+1} - x_{j-1})^2 + (y_{j+1} - y_{j-1})^2]^{3/2}}{4[(x_{j+1} + x_{j-1})(y_{j+1} - 2y_j + y_{j-1}) - (x_{j+1} - 2x_j + x_{j-1})(y_{j+1} - y_{j-1})]}, \quad (15)$$

где

$$\begin{aligned} x_j &= x(\theta_j); & y_j &= y(\theta_j); & x_{j-1} &= x(\theta_j - \Delta\theta); & y_{j-1} &= y(\theta_j - \Delta\theta); \\ x_{j+1} &= x(\theta_j + \Delta\theta); & y_{j+1} &= y(\theta_j + \Delta\theta). \end{aligned}$$

Начальные радиусы кривизны $\overline{R}_1$, $\overline{R}_2$ определяются как соответствующие радиусы последнего фронта, предварительно найденные в цикле 3-17 при $k=l$ в соответствующих точках и при соответствующих длинах отрезков лучей, ограниченных фронтами и границей раздела сред.

Интенсивности УВ в начальных точках лучей $\dot{u}_1$ и $\dot{v}_1$ являются решениями системы линейных алгебраических уравнений, описывающих условия сохранения импульса внутренних сил $Q_{1-} = Q_{1+} + Q_{2+}$ при взаимодействии с границей раздела сред и условия неразрывности на ней скоростей в каждой ее узловой точке:

$$\begin{aligned} \alpha_1 \rho_1 \sin \theta_1 \cos \theta_1 \dot{u}_1 + \beta_1 \rho_1 \cos^2 \psi_1 \dot{v}_1 + \alpha_2 \rho_2 \sin \theta_2 \cos \theta_2 \dot{u}_2 - \beta_2 \rho_2 \cos^2 \psi_2 \dot{v}_2 &= \alpha_1 \rho_1 \sin \theta_1 \dot{u}_1; \\ \alpha_1 \rho_1 \cos^2 \theta_1 \dot{u}_1 - \beta_1 \rho_1 \sin \psi_1 \cos \psi_1 \dot{v}_1 - \alpha_2 \rho_2 \cos^2 \theta_2 \dot{u}_2 - \beta_2 \rho_2 \sin \psi_2 \cos \psi_2 \dot{v}_2 &= -\alpha_1 \rho_1 \cos^2 \theta_1 \dot{u}_1; \\ \sin \theta_1 \dot{u}_1 + \cos \psi_1 \dot{v}_1 - \sin \theta_2 \dot{u}_2 + \cos \psi_2 \dot{v}_2 &= -u \sin \theta_1; \\ \cos \theta_1 \dot{u}_1 - \sin \psi_1 \dot{v}_1 + \cos \theta_2 \dot{u}_2 + \sin \psi_2 \dot{v}_2 &= \dot{u} \cos \theta_1. \end{aligned} \quad (16)$$

Используя (16), определяем напряжения в прифронтовых зонах упругих сред, вызванных упругой волной:

$$\sigma_p = -\alpha \dot{u}; \quad \tau_s = -\rho \beta \dot{v} / 2.$$

Во время функционирования программы, приводятся текущие значения углов падения и преломления лучей, интенсивностей УВ и дополнительных напряжений. Все выводимые результаты дублируются в специальном файле (блок 14). Аналогично осуществляется построение фронтов отраженных и прелом-

ленных волн на других границах раздела и на свободных поверхностях пустотелых искусственных или естественных полостей.

Используя разработанный алгоритм, рассмотрим задачи об отражении плоской взрывной P -волны, распространяющейся в гипсовой породе, от пустотелой или заполненной водой сферической карстовой полости, описываемой уравнением $x^2 + y^2 + z^2 = R^2$.

Скачек безразмерного напряжения σ_- на фронте волны определяется мощностью произведенного взрыва. Плоская взрывная P -волна распространяется в гипсовой породе с параметрами: плотность - $\rho=2,25\text{т/м}^3$, модуль Юнга - $E=0,83 \times 10^{10}\text{Па}$, коэффициент Пуассона - $\nu=0,25$. Фронт волны со скачком давления σ_- перпендикулярен оси z , которая параллельна дневной поверхности (рис. 2).

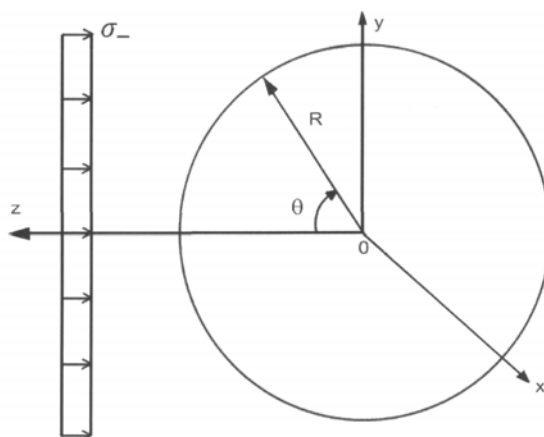
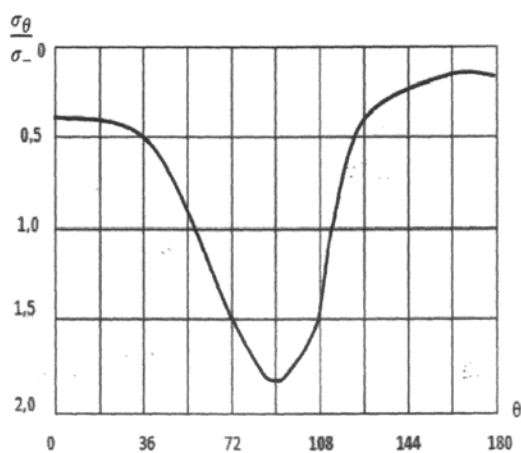
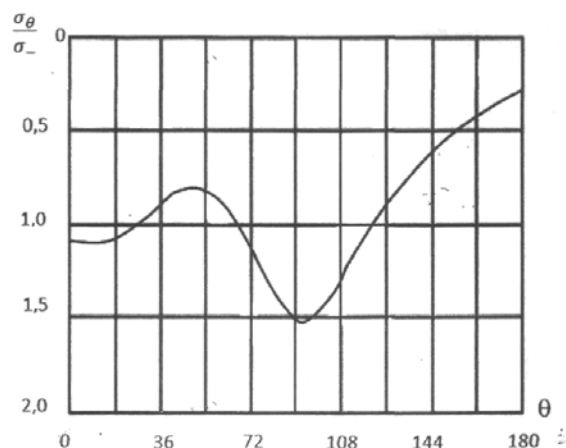


Рис. 2. Распределение напряжений для случая сферической полости

На рис. 3,а показано распределение напряжений $(\sigma_\theta)_{max}$, отнесенного к напряжению σ_- в падающей волне, по поверхности пустотелой полости в ее диаметральной сечении. Числовые значения напряжения σ_θ для соответствующих значений аргумента θ даны в первой строке табл. 1, а на рис. 3,б, то же - для карстовой полости, заполненной водой, в ее диаметральной сечении.



а



б

Рис. 3. Изменение σ_θ/σ_- для пустотелой (а) и полости с водой (б) в зависимости от угла θ при падении фронта волны перпендикулярно оси z

Таблица 1

θ	0	18	36	54	72	90	108	126	144	162	180
$\sigma_{\theta}/\sigma_{\text{воздух}}$	0,338	0,375	0,488	0,825	1,500	1,875	1,650	0,525	0,188	0,112	0,131
$\sigma_{\theta}/\sigma_{\text{вода}}$	1,139	1,116	0,893	0,848	1,161	1,563	1,340	0,893	0,581	0,447	0,357

В результате проведенных исследований установлено, что напряжения по периметру карстовой полости достигают максимальных значений при угловой координате $\theta = 90^\circ$ для пустотелой полости с равномерным распределением напряжений по окружности. Для полости, заполненной водой график распределения напряжений имеет более сложную форму с экстремальными точками. При этом наибольшие значения напряжений также достигаются в точке $\theta = 90^\circ$.

Выводы. Разработан алгоритм математической модели процесса отражения и преломления нестационарных волн на поверхностях раздела пород с различными механическими свойствами. Построение компьютерной модели позволило установить закономерности и получить аналитическое выражение для напряженно-деформированного состояния массива горных пород, ослабленного за счет его массы сферической карстовой полостью, при воздействии на него повторяющихся динамических нагрузок.

Список литературы

1. Цейтлин Я.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов/ Я.И. Цейтлин, Н.И. Смолий. – М.: Недра, 1981. – 192с.
2. Падуков В.А. Разрушение горных пород при ударе и взрыве/ В.А. Падуков, В.А. Антоненко, Д.С. Подозерский. – Л.: Наука, 1971. – 160с.
3. Воробьев В.Д. Исследование сейсмостойкости охраняемых объектов при взрывах в карьерах/В.Д. Воробьев, Л.И. Демешук, В.Н. Кобасов [и др.] //Вісник Національного технічного університету України «КПІ». Серія «Гірництво». – 2007. – Вип.15. – С.30-36.
4. Воробьев В.Д. Исследование сейсмического действия массовых взрывов в разное время года при разработке Песковского месторождения гипса/ В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, А.М. Пасечник [и др.] //Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво»: Зб.наук.праць. – 2008. Вип. 17. – С. 25-34.
5. Подильчук Ю.Н. Лучевые методы в теории распространения и рассеяния волн/ Ю.Н. Подильчук, Ю.К.Рубцов - К.: Наук. думка, 1988. - 220 с.
6. Пасечник А.М. Условия устойчивости карстовых полостей в горном массиве при статических нагрузках/А.М. Пасечник //Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Наук.-вироб. збірник. – 2008. - Вип. №2/2008(2). – С. 102-110.
7. Пасечник А.М. Основні умови сейсмостійкості об'єктів, що охороняються, при вибухах на кар'єрах закарстованих родовищ /А.М. Пасічник, В.Д. Воробйов //Вісник ННДІПБОП. – 2009. - Вип. 24/2009. – С. 60-64.
8. Воробьев В. Повышение сейсмической безопасности промышленных взрывов при разработке закарстованных месторождений полезных ископаемых /В. Воробьев, А. Крючков, А. Пасечник [и др.]//Зб. мат. Міжнар.наук. конф. «Охорона праці та соціальний захист працівників». - К., - 2008. - С.62-63.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.

Надійшла до редакції 16.06.09

ВИЗНАЧЕННЯ СИЛ ОПОРУ РУХУ ТА НАПРАВЛЯЮЧИХ ЗУСИЛЬ ШАХТНОГО ШАРНІРНО-ЗЧЛЕНОВАНОГО ЛОКОМОТИВА В РЕЖИМІ ГАЛЬМУВАННЯ

Определены направляющие и силы сопротивления движению шарнирно-сочлененного локомотива в режиме торможения. Это позволяет формировать обобщенные силы для численного решения системы уравнений, входящих в динамическую модель движения шарнирно-сочлененного локомотива, движущегося по реальному шахтному рельсовому пути с кривизной в профиле и в плане.

Визначені направляючі та сили опору руху шарнірно-зчленованого локомотива в режимі гальмування. Це дозволяє формувати узагальнені сили для чисельного вирішення системи рівнянь, що входять в динамічну модель руху шарнірно-зчленованого локомотива, що рухається по реальному шахтному рейковому шляху з кривизною в профілі і в плані.

The forces of sending and forces of resistance of motion of the joint-jointed locomotive are certain in the regime of braking. It allows to form the generalized forces for numeral decide the systems of the equalizations included in the dynamic model of motion of the joint-jointed locomotive on the real mine rail way with curvature in a type and in a plan.

У динамічній моделі руху шахтного локомотива по реальній шахтній рейковій колії беруть участь сили взаємодії його з рейковими нитками, а також причіпною частиною потягу, що необхідні для визначення узагальнених сил в рівнянні Лагранжа другого роду. Ці сили достатньо точно розраховані для традиційних двовісних шахтних локомотивів, що рухаються в режимі тяги на прямих та криволінійних ділянках колії [1]. Вони визначалися і для шахтних шарнірно-зчленованих локомотивів при русі в сталому режимі по ідеальній кривій без урахування пружньо-дисипативних параметрів колії [2]. Виникає необхідність визначення сил опору руху та направляючих зусиль колії на екіпаж шахтного шарнірно-зчленованого локомотива, що рухається по реальній рейковій колії з кривизною в плані та в профілі.

У загальному випадку зв'язки коліс та рейкових гальм з рейками є односторонні та неголономні, але можуть бути замінені за принципом Д'Аламбера-Лагранжа їх реакціями на систему таким чином, що траєкторія руху звільненої системи залишиться незмінною в просторі та в часі [3]. При цьому компоненти реакцій зв'язків є мірами Лебега-Стілтєса. Одержані реакції необхідні для визначення узагальнених сил в рівнянні Лагранжа другого роду, що описує динамічну модель шарнірно-зчленованого локомотива, що рухається в режимі гальмування.

До горизонтальних сил взаємодії коліс з рейками на прямих і криволінійних в плані ділянках колії можна віднести наступні:

$W_{c\ inj}$ – сила подовжнього ковзання колеса в точці контакту з рейкою;

T_{inj} – сила поперечного ковзання колеса в точці контакту з рейкою при русі в криволінійній ділянці колії;

$W_{p\ inj}$ – сила подовжнього ковзання набігаючого колеса, що виникає при терті реборди об рейку при русі в криволінійній ділянці колії;

Y_{inj} – направляюча сила, що діє під кутом γ_{inj} з боку рейки на реборду колеса при русі в криволінійній ділянці колії.

Схема прикладення до шарнірно-зчленованого локомотива вказаних сил приведена на рис. 1, де цифрами 1 та 2 позначені подовжні осі симетрії тягових секцій, а 3 – середньої секції.

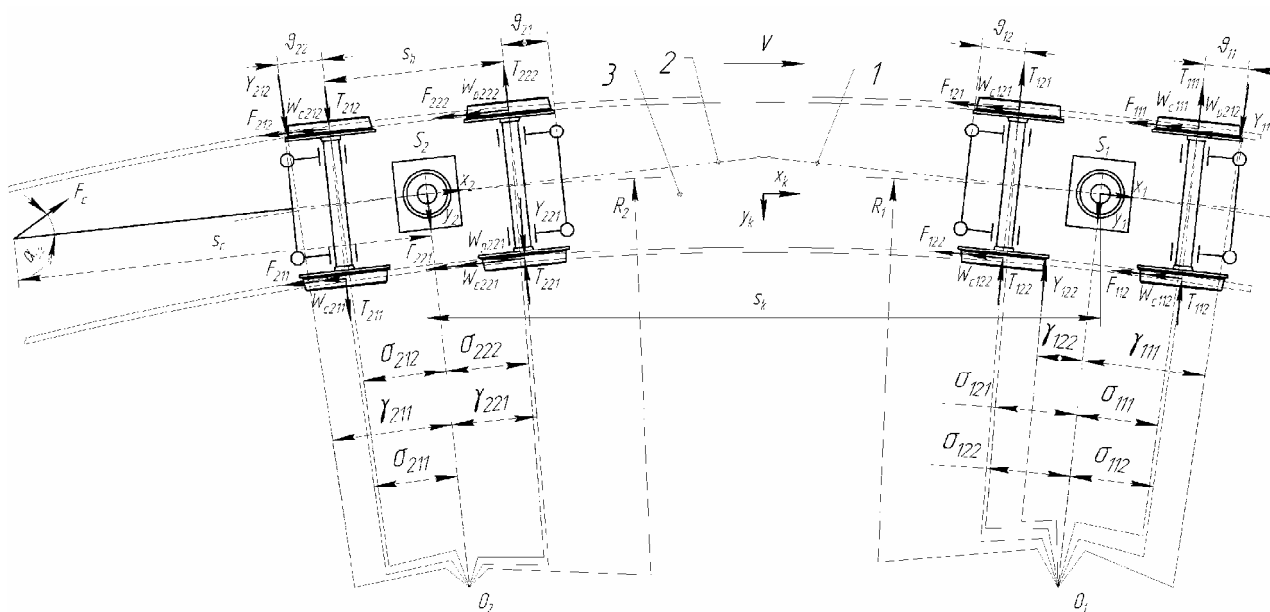


Рис. 1. Схема прикладення сил до коліс локомотива в площині колії

Стискаючу силу, прикладену до зчіплення локомотива, задають або знаходять з рішення системи рівнянь як силу інерції деякого складу вагонеток за вираженням сил опору руху цих вагонеток. Кут нахилу F_c до подовжньої осі відповідної тягової секції в горизонтальній площині рівний $\alpha_{сг}$, а у вертикальній – $\alpha_{св}$.

У зв'язку з установкою колісних пар на рамі тягових секцій локомотива через пружні гумометалеві шарніри, вони при взаємодії реборд набігаючих коліс з рейками, можуть повертатися щодо вертикальної поперечної осі тягової секції на кути перекосу ϑ_{in} . Ці кути визначаються залежно від поперечної кривини жорсткості підвіски колісної пари c_ϑ як функція направляючого зусилля $\vartheta_{in} = Y_{inj} / c_\vartheta$ [4]. Вказані перекоси враховують при визначенні узагальнених сил в рівнянні Лагранжа другого роду.

Тут також позначені кути установки колісних пар щодо рейкових ниток σ_{inj} та кути набігання реборди коліс на внутрішні поверхні головки рейки γ_{inj} , що визначаються з урахуванням [5] як

$$\sigma_{i11} = \operatorname{arctg} \frac{\frac{s_b}{2} - a_i}{R_i + \left(\frac{s_p + \Delta_{s\,i1}}{2}\right)};$$

$$\sigma_{i12} = \operatorname{arctg} \frac{\frac{s_b}{2} - a_i}{R_i - \left(\frac{s_p - \Delta_{s\,i1}}{2}\right)};$$

$$\sigma_{i21} = \operatorname{arctg} \frac{\frac{s_b}{2} + a_i}{R_i + \left(\frac{s_p + \Delta_{s\,i1}}{2}\right)};$$

$$\sigma_{i22} = \operatorname{arctg} \frac{\frac{s_b}{2} + a_i}{R_i - \left(\frac{s_p - \Delta_{s\,i1}}{2}\right)},$$

$$\gamma_{i11} = \operatorname{arc\,sin} \frac{\frac{s_b}{2} - a_i}{R_i - (r + c) \operatorname{tg} \delta_0 + \frac{\Delta_{s\,i1}}{2}};$$

$$\gamma_{i21} = \operatorname{arc\,sin} \frac{\frac{s_b}{2} - a_i}{R_i - (r + c) \operatorname{tg} \delta_0 + \frac{\Delta_{s\,i2}}{2}};$$

$$\gamma_{i22} = \operatorname{arc\,sin} \frac{\frac{s_b}{2} + a_i}{R_i + (r + c) \operatorname{tg} \delta_0 - \frac{\Delta_{s\,i2}}{2}},$$

де a_i – відстань між геометричним центром візка i -ї тягової секції та полюсом її обертання при русі в кривій, визначають по виразу

$$a_i = \frac{(\Delta_{s\,i1} + \Delta_{s\,i2})R_i}{4s_b},$$

де $\Delta_{s\,i1}$ та $\Delta_{s\,i2}$ – відхилення розміру ширини рейкової колії відповідно під колесами першої та другої колісних пар i -ї тягової секції;

c – висота гребеня (реборди) колеса, дорівнює 0,022 м для коліс шахтних локомотивів;

δ_0 – кут конічності реборди, дорівнює 75° для коліс шахтних локомотивів.

Але кути набігання можна вважати істинними, якщо вони будуть менше критичного γ_0 , який рівний виразу

$$\gamma_0 = \arcsin \frac{\sqrt{\frac{2(c-h)}{r+c}}}{\operatorname{tg} \delta_0}.$$

Інакше їх слід визначати по формулах

$$\gamma_{i11} = \arcsin \frac{\frac{s_b}{2} - a_i + (r+c) \operatorname{tg} \delta_0 \sin \gamma_0}{R_i + \frac{\Delta_{s\ i1}}{2}};$$

$$\gamma_{i21} = \arcsin \frac{\frac{s_b}{2} + a_i + (r+c) \operatorname{tg} \delta_0 \sin \gamma_0}{R_i + \frac{\Delta_{s\ i1}}{2}};$$

$$\gamma_{i22} = \arcsin \frac{\frac{s_b}{2} + a_i + (r+c) \operatorname{tg} \delta_0 \sin \gamma_0}{R_i - \frac{\Delta_{s\ i2}}{2}}.$$

Величина сили подовжнього ковзання колеса в точці контакту з рейкою дорівнює

$$W_{c\ inj} = A \sin \varepsilon_{x\ inj} + B \sin(3\varepsilon_{x\ inj}),$$

де A і B – коефіцієнти Фур'є, що мають розмірність сили, визначаються як

$$A = \frac{4(N_{inj}f_0 + \alpha_{ck}\delta_{\max})}{\pi^2 \sin\left(\frac{\pi N_{inj}f_0}{N_{inj}f_0 + \alpha_{ck}\delta_{\max}}\right)};$$

$$B = \frac{4(N_{inj}f_0 + \alpha_{ck}\delta_{\max})}{9\pi^2 \sin\left(\frac{3\pi N_{inj}f_0}{N_{inj}f_0 + \alpha_{ck}\delta_{\max}}\right)},$$

де N_{inj} – нормальна реакція рейки під колесом;

f_0 – коефіцієнт тертя ковзання стали по сталі;

α_{ck} – емпіричний коефіцієнт, що залежить від навантаження колеса на рейку та дорівнює для шахтних локомотивів приблизно 1100 Н/мк [1];

$\delta_{\max}$ – найбільша величина пружного зрушення в парі колесо-рейка, дорівнює 30 мк;

$\varepsilon_{x\ inj}$ – подовжнє відносне ковзання колеса по рейці, для режиму гальмування знаходять з виразів

$$\varepsilon_{x\ in1} = -\xi_v \eta_v \frac{s_p}{2R + s_b} + \frac{30\varepsilon_x}{R};$$

$$\varepsilon_{x\ in2} = \xi_v \eta_v \frac{s_p}{2R - s_b} + \frac{7\varepsilon_x}{R},$$

де ε_x – середнє значення подовжнього відносного ковзання колеса по рейці на прямолінійній ділянці колії, за емпіричними даними [6] дорівнює 1,5 %.

Зміна величини подовжнього ковзання колеса по рейці залежно від радіусу кривизни ділянки колії приведена на рис. 2.

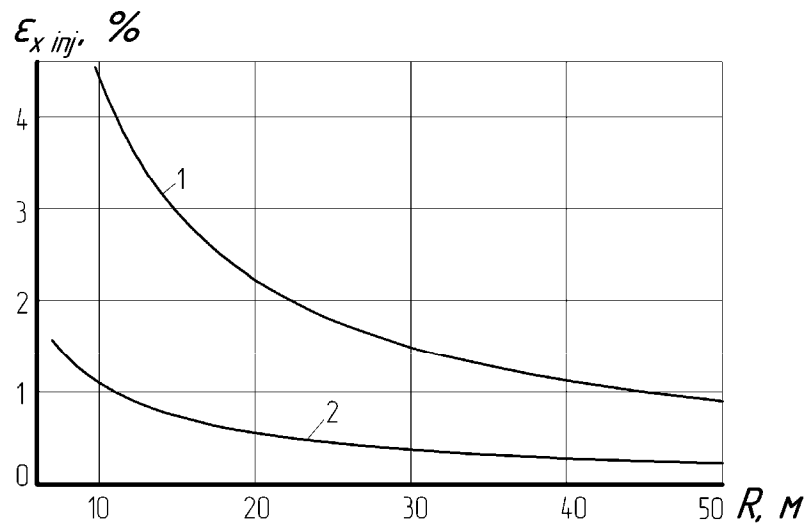


Рис. 2. Зміна величини подовжнього ковзання колеса по рейці залежно від радіусу кривизни ділянки колії

Значення сили поперечного ковзання колеса в точці контакту з рейкою складає

$$T_{c inj} = A \sin \varepsilon_{y inj} + B \sin(3\varepsilon_{y inj}),$$

де $\varepsilon_{y inj}$ – поперечне відносне ковзання конкретного колеса локомотива по рейці, для режиму гальмування знаходять з виразу $\varepsilon_{y inj} = \sin \sigma_{inj}$.

Силу подовжнього ковзання набігаючого колеса, що виникає при терті реборди об рейку в криволінійній ділянці колії, визначають як

$$W_{p inj} = \frac{\lambda_{inj}}{r} (A \sin(\operatorname{ctg} \beta_{inj}) + B \sin(3 \operatorname{ctg} \beta_{inj})),$$

де β_{inj} – кут забігу реборди, що визначається як $\beta_{inj} = \arccos(\sin \gamma_{inj} \operatorname{tg} \delta_0)$;

λ_{inj} – забіг реборди набігаючого колеса, знаходять по формулі

$$\lambda_{inj} = (r + c) \sin \gamma_{inj} \operatorname{tg} \delta_0.$$

При визначенні сили подовжнього ковзання реборди набігаючого колеса об рейку, у виразах для коефіцієнтів Фур'є A і B замість нормальної реакції рейки під колесом N_{inj} слід підставляти N'_{inj} – реакцію рейки на реборду колеса, що визначають як $N'_{inj} = Y_{inj} \sin \delta_0$.

Коефіцієнт зчеплення колеса з рейкою ψ в режимі гальмування залежить від умов забрудненості доріжок катання рейкових ниток, а максимальне його значення ψ_x може бути реалізоване тільки на прямій. При русі локомотива по

кривій збільшується подовжнє ковзання коліс щодо рейок $\varepsilon_{x inj}$ і з'являється поперечне ковзання $\varepsilon_{y inj}$. Повне ковзання колеса при русі локомотива в кривій є векторна сума подовжнього та поперечного ковзань

$$\varepsilon_{inj} = \sqrt{\varepsilon_{x inj}^2 + \varepsilon_{y inj}^2}.$$

Залежність коефіцієнта зчеплення конкретного колеса від повного ковзання колеса по рейці приведена на рис. 3 [7].

Величина діючого коефіцієнта зчеплення під конкретним колесом залежно від повного ковзання може бути описана емпіричною залежністю

$$\psi_{inj} = \frac{\psi_z}{\psi_0} (0,0784412 - 0,143225\varepsilon_{inj} + 0,0902708 \sqrt[6]{\varepsilon_{inj}^7} + 0,178769 \operatorname{th} \varepsilon_{inj}),$$

де ψ_0 – коефіцієнт зчеплення коліс локомотива на сухих чистих рейках, за експериментальними даними для вугільних шахт приймають рівним 0,17;

ψ_z – коефіцієнт зчеплення коліс локомотива на прямій (при $\varepsilon_x = 1,5\%$) для певного ступеня забрудненості доріжок катання рейкових ниток. Його приймають рівним наступним значенням: 0,21 на посипаних піском рейках (крива 1 на рис. 3); 0,17 на сухих чистих (лінія 2); 0,13 для мокрих чистих (залежність 3); 0,08 для покритих вугільно-порідним брудом (крива 4).

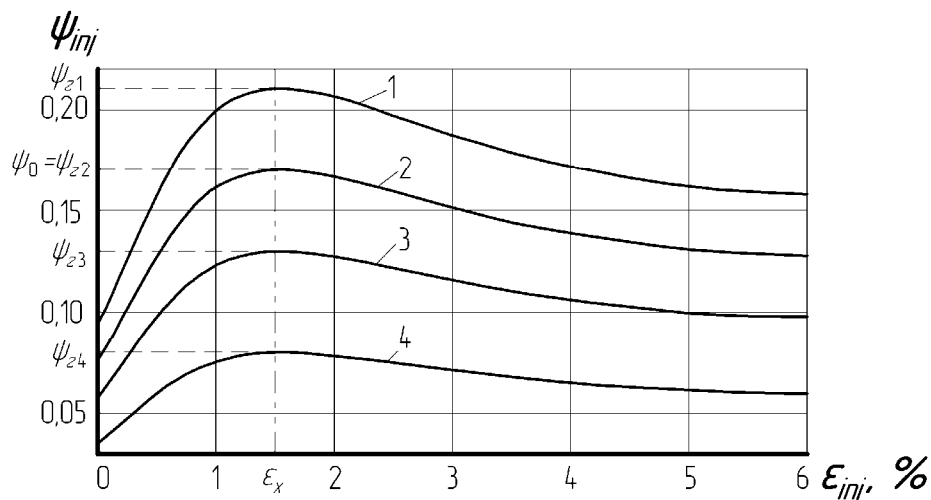


Рис. 3. Залежність коефіцієнта зчеплення від повного ковзання колеса по рейці

Направляючу силу Y_{inj} знаходять як функцію поперечних переміщень рейкового шляху при деформації його в поперечному напрямі ребордою набігаючого колеса

$$Y_{inj} = \frac{y_{o inj} c_{oy}}{\cos \gamma_{inj}},$$

де $y_{o inj}$ – узагальнена координата горизонтальних переміщень рейкової колії під відповідним колесом в динамічній моделі шахтного шарнірно-зчленованого локомотива [8];

c_{oy} – приведена до колеса локомотива жорсткість рейкової колії в горизонтальній площині, Н/м [9].

Одержані вирази використовують для визначення узагальнених сил в рівнянні Лагранжа другого роду як реакції системи на неголономні зв'язки коліс з рейками. Потім, виконуючи відповідні перетворення і процедури, одержують систему нелінійних диференціальних рівнянь, що описують рух шарнірно-зчленованого локомотива по шахтній рейковій колії в режимі гальмування.

Вперше запропоновано замінювати односторонні неголономні зв'язки коліс шахтного шарнірно-зчленованого локомотива з рейками їх реакціями, що задовольняють умові незмінності траєкторії руху звільненої системи (у просторі та в часі) за принципом Д'Аламбера-Лагранжа. Це дозволяє точніше формувати узагальнені сили для випадку руху локомотива по реальних ділянках шахтної рейкової колії з експериментально зміряними параметрами (подовжній та поперечний ухили, радіуси кривизни в плані і профілі, довгі та короткі нерівності). З'являється можливість створення локомотива з високими тягово-гальмівними характеристиками для роботи на існуючих шахтних коліях і визначення вимог до профілю шахтних виробок, що будуються, в яких передбачається використання важких локомотивів нового покоління.

Список літератури

1. Процив В.В. Устойчивость движения локомотива на закруглениях шахтных рельсовых путей // Изв. вузов. Горный журнал. – 1992. – № 7. – С. 64-69.
2. Мишин В.В., Зайцева О.Б. Математическая модель шахтного секционного локомотива в кривой // Изв. вузов. Горный журнал. – 1992. – № 4. – С. 71-74.
3. Сорокина О.В., Кугушев Е.И. Принцип Даламбера-Лагранжа в механических системах с односторонними связями. Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН, 2002, N 14.
4. Процив В.В. Определение характеристик поперечной жесткости подвески рычажно-балансирного типа шахтных локомотивов // Изв. вузов. Горный журнал. – 1996. – № 7. – С. 86-91.
5. Процив В.В. Прогнозирование силы тяги, реализуемой локомотивом на кривых шахтных рельсовых путей // Изв. вузов. Горный журнал. – 1992. – № 12. – С. 68-74.
6. Сердюк А.А., Литвин В.В., Процив В.В. Определение бокового скольжения и коэффициента сцепления шахтного локомотива на криволинейных участках рельсового пути с учетом наличия промежуточной среды // Разработка рудных месторождений. – 2005. – Вып. 88 – С. 253-257.
7. Процив В.В., Моня А.Г. Экспериментальное определение характеристик сцепления шахтного локомотива в режиме торможения // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2003 – № 2 – С. 95-97.
8. Процив В.В. Формування динамічної моделі шахтного шарнірно-зчленованого локомотива, що рухається в режимі гальмування // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 4. – С. 76-83
9. Процив В.В. Инерционные, жесткостные и диссипативные характеристики шахтного рельсового пути // Изв. вузов. Горный журнал. – 1991. – № 6. – С. 80-82.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Блохіним С.Є.
Надійшла до редакції 19.05.09*

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЗАТЯЖЕК ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Приведены результаты исследований по определению оптимального состава стеклопластика для изготовления шахтной затяжки.

Наведено результати досліджень по визначенню оптимального складу склопластику для виготовлення шахтного затягу.

In this article author studies optimal composition of glass-reinforced plastic to use it as a collar tie in mines.

Надежность и срок службы ограждений из дерева, применяемых для крепления горных выработок при подземной добыче угля, не соответствует современным требованиям. При использовании ограждений из дерева возникает необходимость перекрепления выработок три раза и более за полный срок их службы, что сопряжено с большим расходом леса и существенными затратами труда.

В последнее время в качестве ограждений для крепления горных выработок применяются металлические сетки и решетчатые затяжки из металла [1]. Такие ограждения характеризуются огнестойкостью, высокой несущей способностью и имеют небольшую массу. К их недостаткам относятся малая коррозионная стойкость, решетки и сетки не защищают рабочее пространство выработки от падения мелких кусков породы и не позволяют производить забутовку закрепленного пространства быстротвердеющими составами.

В последние десятилетия как у нас в стране, так и за рубежом [1-4] проводились работы по использованию в горно-рудной промышленности, в частности в качестве материала для шахтного крепежа, различных марок стеклопластика. Обладая сравнительно небольшой плотностью, высокой химической стойкостью к действию кислот, щелочей, агрессивной шахтной среды, хорошей износостойкостью и низким коэффициентом трения, хорошими электроизоляционными и механическими свойствами этот материал является весьма перспективным в данной области применения.

Основным сдерживающим фактором на пути его применения для этих целей является сравнительно высокая стоимость материала. Вопрос об экономической эффективности применения затяжек из стеклопластика может быть решен за счет значительного, по сравнению с деревянными, увеличения срока их службы, а также за счет оптимизации состава стеклопластика, использования более дешевых компонентов с сохранением необходимых для конкретных условий прочностных свойств.

Таким образом, изготовление из стеклопластиков затяжек для шахтных выработок перспективно. При этом научно-исследовательские работы необходимо направить на расширение материальной базы получения стеклопластиков: использование термореактивного связующего различной химической природы, а в качестве наполнителя – тканых листовых материалов.

Стеклопластик представляет собой двухкомпонентную систему, состоящую из различных материалов: упрочняющий (армирующий) стекловолоконный наполнитель и связующее (смола).

Стекловолокно – упрочняющий элемент, воспринимающий основные нагрузки при работе стеклопластика в конструкции. Смола связывает стеклянные волокна между собой в единую систему и, в основном, обеспечивает более или менее равномерное и одновременное участие всех стекловолокон при деформации стеклопластика.

Для изготовления изделий из стеклопластиков применяются эпоксидная, эпокси-фенольная, модифицированные фенольные смолы и др. Каждая из указанных смол имеет специфическое назначение в зависимости от конкретных требований к материалу и к качеству изделия в условиях эксплуатации. Следовательно, правильный выбор основных составляющих стеклопластика – смолы, армирующего наполнителя и технологии их переработки в изделие может обеспечивать получение стеклопластиков с заданными свойствами, необходимыми для решения разнообразных задач многочисленных отраслей техники и народного хозяйства.

Практический интерес для использования в данной работе представляют следующие материалы:

- 1) ткань конструкционная из стеклянных крученых комплексных нитей марки Т-10 (ГОСТ 19179-73);
- 2) полотна иглопробивные стеклянные теплоизоляционные марки ИПС-Т (ТУ 6-11-570-83);
- 3) полотна холстопробивные стекловолоконные марки ХПС-Т (ТУ 6-48-020977-1-88);
- 4) полотна нитепробивные стекловолоконные комбинированные марки НПК (ТУ 6-48-00205015-52-92);
- 5) полотно нитепробивное однонаправленное марки НПО-400 (ТУ 6-19-290-85);
- 6) прессматериал марки АГ-4НС, ГОСТ 20437-89.

В качестве связующих рассматриваются:

- 1) фенолформальдегидная смола в составе прессматериала АГ-4;
- 2) лак бакелитовый спиртовой, марки ЛБС-20;
- 3) эпоксидная смола.

В задачи исследований по данному этапу работ входило:

- 1) обоснование оптимального процентного состава композита и связующего для различных видов смешанных волокнистых материалов;
- 2) выбор наполнителя на основе стеклянных волокнистых материалов с учетом массового производства, низкой стоимости и эффективности;
- 3) определение зависимости прочности гибридных стеклопластиков от структуры гибридных композитных материалов.

В качестве объектов исследований выступали различные стеклоткани и стекловолоконные материалы, а также связывающие на основе эпоксидных и фенолформальдегидных смол.

Наиболее доступными материалами для изготовления прочных стеклопластиков являются стекловолокнистые материалы марки ИПС-Т, ХПС-Т и стеклополотно НПО-400, а также прессматериал марки АГ-4НС. В качестве связующего использовался лак бакелитовый спиртовый марки ЛБС-20.

Стеклоткань марки Т-10 с эпоксидной смолой в качестве связующего, рекомендованные ранее для изготовления высокопрочных стеклопластиков, в данной работе использовались для получения сравнительных прочностных характеристик и стоимости.

Методика исследований физико-механических свойств композитных материалов включала определение водопоглощения материала, его плотности, прочности при ударном изгибе, прочности при статическом изгибе, разрушающего напряжения при растяжении, а также модуля упругости при изгибе.

Экспериментальные исследования проводились с целью выбора оптимального наполнителя на основе стеклянных волокнистых материалов с учетом возможного массового их производства предприятиями Украины при низкой стоимости получения прочных композитов. За результат испытаний принимали среднее арифметическое не менее трех определений.

В экспериментальную часть входят следующие этапы исследований:

- 1) изучение стадии пропитки различных тканей связующим на основе фенолформальдегидной смолы (лак бакелитовый спиртовый ЛБС-20);
- 2) технологический режим прессования композита;
- 3) оценка физико-механических свойств полученных стеклопластиков в зависимости от вида связующего и наполнителя;
- 4) обоснование оптимального состава стеклопластика с высокими прочностными показателями из исследованных материалов;
- 5) экономическое обоснование стоимостных показателей на разработанный стеклопластик.

Определение водопоглощения проводили в соответствии с ГОСТ 4650-80, который распространяется на полимерные материалы, и устанавливает методы определения в холодной (метод А) и в кипящей (метод С) воде. Массовую долю воды, поглощенную образцом, в процентах для каждого образца, вычисляли по формуле:

$$x = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100, \quad (1)$$

где: m_1 – масса образца перед погружением в воду, мг;

m_2 – масса образца после извлечения из воды, мг.

Определение плотности полученных материалов проводили гидростатическим взвешиванием в соответствии с ГОСТ 5689-73. Плотность вычисляли по формуле:

$$\rho = \frac{m}{m - (m_1 - m_2)} \rho_0, \text{ г/см}^3, \quad (2)$$

где: m – масса образца на воздухе, мг; m_1 – масса образца с проволокой, мг; m_2 – масса проволоки, погруженной в воду, мг; ρ_0 – плотность воды при 20°C, г/см³.

Прочность при ударном изгибе, или ударная вязкость, является одним из основных показателей механической прочности материала и определяется по ГОСТ 4647-80. Метод основан на измерении работы в кДж, необходимой для разрушения (излома) стандартного образца, свободно лежащего на двух опорах при испытании его на изгиб ударной нагрузкой. Показателем прочности является работа в кДж, приходящаяся на 1 м² площади поперечного сечения образца. Ударную вязкость материала α вычисляли по формуле:

$$\alpha = \frac{A}{S}, \quad (3)$$

где: A – работа, затраченная на разрушение образца, Дж; S – площадь поперечного сечения образца, м².

Прочность при статическом изгибе – способность материала сопротивляться действию изгибающей нагрузки до определенного предела, после чего разрушается образец. Сущность метода испытания на статический изгиб по ГОСТ 4648-71 состоит в определении разрушающего напряжения в МПа при изгибе, как отношения изгибающего момента к моменту сопротивления поперечного сечения образца. Испытания проводили на разрывной машине ГР-10, позволяющей измерять величину нагрузки с погрешностью до 1 % от измеряемой величины при скорости 2-2,5 мм/мин. Прочность при статическом изгибе вычисляли по формуле:

$$\sigma_{из} = \frac{3PL}{2bh^2}, \text{ МПа}, \quad (4)$$

где: P – нагрузка, Н; L – расстояние между опорами, мм; b – ширина образца, мм; h – толщина образца, мм.

Определение разрушающего напряжения при растяжении (σ_p) проводили на разрывной машине ГР-10 в соответствии с ГОСТ 11262-80 при скорости 50 мм/мин и вычисляли по формуле:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{S_1}, \text{ Па}, \quad (5)$$

где: P_p – нагрузка, при которой образец разрушился, Н; S_1 – наименьшая площадь первоначального поперечного сечения, мм².

Модуль упругости при изгибе определялся как отношение приращения напряжения к соответствующему приращению относительной деформации. Испытания проводили на разрывной машине ГР-10 в соответствии с ГОСТ 9550-81, расчет результатов проводился по формуле:

$$E_{из} = \frac{L_v^2 (F_2 - F_1)}{4bh^3 (z_2 - z_1)}, \text{ Па}, \quad (6)$$

где: L_v – расстояние между опорами, мм; F_1 – нагрузка при величине относительной деформации крайних волокон 0,1 %, Н; F_2 – нагрузка при величине относительной деформации крайних волокон 0,3 %, Н; b – ширина образца, мм; h – толщина образца, мм; z_1 – прогиб образца, соответствующий относитель-

ной деформации крайних волокон 0,1 %, мм; z_2 – прогиб образца, соответствующий относительной деформации крайних волокон 0,3 %, мм.

Анализ результатов проведенных исследований, изложенных на рис. 1, показывает, что наиболее перспективными материалами являются композиты на основе фенолформальдегидного связующего в виде бакелитового лака марки ЛБС-20 и стеклотканей марок НПО и Т-10. Стеклопластики, армированные нитепробивными и нитепрошивными материалами марок ИПС и ХПС, имеют прочностные характеристики в 2-3 раза ниже, чем композиты, наполненные стеклотканями, что можно объяснить отсутствием ориентированных цельных более прочных стекловолокон в их составе.

Иглопробивное полотно марки ИПС следует рекомендовать к использованию в разрабатываемых конструкционных материалах в качестве более дешевого, чем стеклоткань наполнителя, а также для использования в составе гибридных композиционных стеклопластиков.

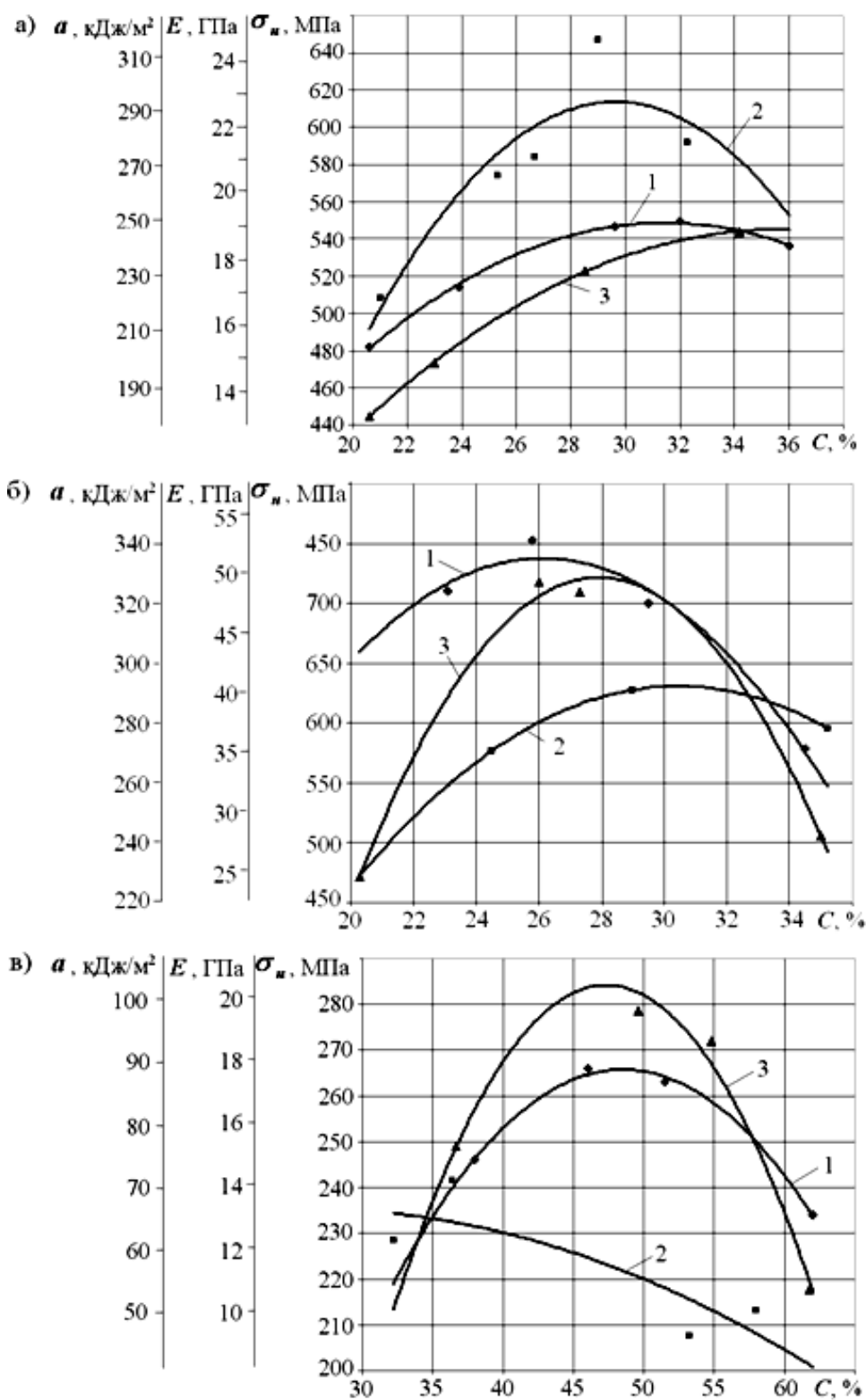
Для изготовления опытной партии изделий и элементов шахтного крепления по итогам полученных результатов исследований (с учетом наличия материальной базы) рекомендованы к использованию полотно марки НПО производственная база НПО «Стеклопластик» (п.г.т. Буча, Киевской области) и ткань Т-10 производственная база БЗСВ (г. Бердянск).

Результаты исследований, приведенные на рис. 1 показывают, что изменение значений по основным прочностным показателям существенно зависит от содержания связующего в готовых образцах. При этом оптимальным содержанием связующего в стеклопластиках следует считать:

- изделия, наполненные тканью Т-10 – 30 ± 4 %;
- изделия, наполненные полотном НПО – 27 ± 3 %;
- изделия, наполненные стекловолокнистыми материалами типа ИПС – 48 ± 3 % (масс) от массы образцов. Содержание связующего в пропитанных материалах регулируется содержанием сухого остатка в пропитывающем растворе, его вязкостью и степенью отжима.

Обоснование оптимального состава стеклопластика с высокими прочностными характеристиками и с введением дешевых стекловолокнистых материалов проводилось путем изготовления образцов с рекомендованными материалами и анализа прочностных показателей: ткань стеклянная типа Т-10, иглопробивное полотно марки ИПС и иглопрошивной материал марки НПО. Образцы стеклопластиков, изготовленные методом прессования, содержали различные по толщине слои из внешних прослоек на основе тканей Т-10 или НПО и внутренние слои на основе полотна ИПС. Содержание пакетов материалов в процентах к толщине готового изделия (образца) рассчитывалось из соотношения количества слоев стекломатериалов на 1 мм толщины получаемого изделия.

Опытным путем при отработке технологического режима прессования установлено, что для получения стеклопластика толщиной 1 мм необходимо следующее количество слоев пропитанной ткани: Т-10 – 4 слоя, НПО – 3 слоя и полотно ИПС – 1 слой.



1 – разрушающее напряжение при статическом изгибе σ_u , МПа; 2 – модуль упругости при изгибе E , ГПа; 3 – ударная вязкость без надреза a , кДж/м²

Рис. 1. Влияние содержания связующего на физико-механические свойства стеклопластиков: а – на основе ткани Т-10; б – на основе полотна НПО; в – на основе полотна ИПС

Результаты испытаний представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Разрушающее напряжение при статическом изгибе в зависимости от различного содержания стекломатериалов в пакете

Состав пакета по слоям	Содержание стеклоткани в пакете по толщине, %	Разрушающее напряжение при статическом изгибе, МПа
Ткань Т-10	100	560
Пакет Т-10 + ИПС + Т-10		
2 + 6 + 2	15	286,7
4 + 5 + 4	31	305,3
8 + 4 + 8	58	401,5
12 + 2 + 12	83	578,6
Ткань НПО	100	578,6
Пакет НПО + ИПС + НПО		
2 + 6 + 2	20	333,3
4 + 5 + 4	40	512,3
6 + 5 + 6	60	477,0
Полотно ИПС	100	260
Прессматериал АГ-4НС	100	573,4
Пакет АГ-4 + ИПС + АГ-4		
1 + 6 + 1	16	366,2
2 + 5 + 2	36	557,5
4 + 4 + 4	55	603,3
6 + 2 + 6	80	654,5

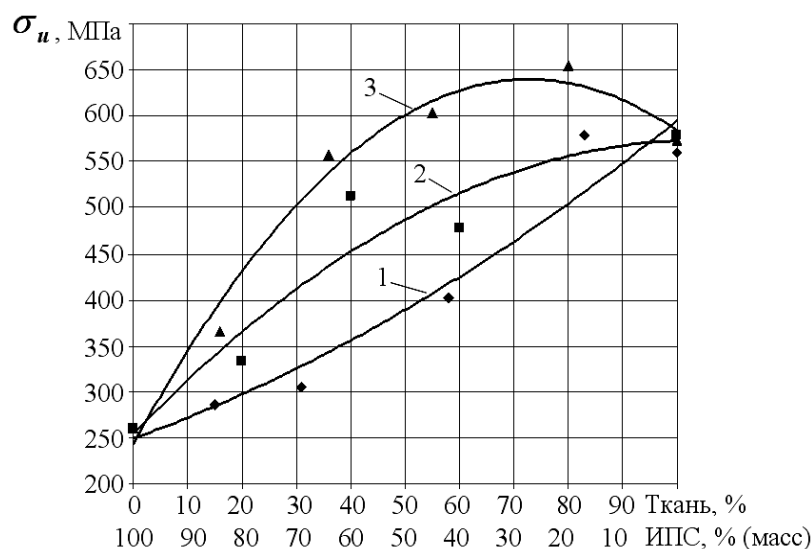


Рис. 2. Зависимость разрушающего напряжения при статическом изгибе стеклопластиков от содержания в составе пакетов иглопробивного полотна марки ИПС: 1 – пакет прессматериала марки АГ-4НС+ИПС; 2 – пакет прессматериала из ткани НПО+ИПС; 3 – пакет прессматериала из ткани Т-10+ИПС

Анализ полученных результатов показывает, что использование прессматериала АГ-4НС и нитепрошивного материала марки НПО следует считать предпочтительнее ткани Т-10. Образцы стеклопластиков, изготовленные в виде слоистых (гибридных) пакетов с добавлением в середину более дешевого и плотного стеклополотна марки ИПС и внешних слоев из прессматериала АГ-4 или ткани НПО при соотношении по весу 1:1, имеют некоторое увеличение

предела прочности при изгибе для гибридных слоистых образцов по сравнению с чистым облицовочным материалом, что можно объяснить исходя из следующих предположений:

- при работе на изгиб наибольшие нормальные напряжения растяжения-сжатия возникают в наружных слоях образца (изделия);
- наибольшие касательные напряжения возникают в среднем слое образца на нейтральной оси, где нормальные напряжения отсутствуют.

В наружных слоях образцов предполагаемой конструкции рекомендуется использование высокопрочных стеклотканей (типа НПО и Т-10), воспринимающих основные нормальные напряжения (нагрузки растяжения-сжатия). Однако, материалы, имеющие слоистую структуру, чувствительны к межслоевому сдвигу. Материал заполнителя на основе полотна ИПС, имеющего квазихаотическую структуру, наоборот, имеет хорошую сопротивляемость касательным напряжениям (межслоевому сдвигу).

В результате анализа выполненных исследований установлено, что гибридные стеклопластики на основе стекловолокна НПО и стеклополотна ИПС отличаются повышенной прочностью и низкой стоимостью. В связи с этим рекомендованы следующие составы стеклопластиков для изготовления опытной партии затяжек для шахтного крепления:

- из полотна НПО – 9-10 слоев;
- из набора тканей в виде пакетов:

НПО + ИПС + НПО

3 + 1 + 3 слоя;

3 + 2 + 3 слоя.

Выводы.

– В работе на базе лабораторных исследований обоснован оптимальный процентный состав композита и связующего для различных видов смешанных волокнистых материалов; проведен выбор наполнителя на основе стеклянных волокнистых материалов с учетом массового производства, низкой стоимости и эффективности; определены зависимости прочности гибридных стеклопластиков от структуры гибридных композитных материалов.

– Исследованы прочность при ударном изгибе (ударная вязкость), прочность при статическом изгибе и модуль упругости при изгибе образцов с различным составом связующих и наполнителей.

– В результате выполнения данных исследований разработан оптимальный с точки зрения прочностных и стоимостных характеристик состав стеклопластиков для изготовления затяжек горных выработок.

Список литературы

1. Полимерные композиционные материалы в горном деле. -М.: Недра, 1988.
2. Шахтная крепь из высокопрочных стеклопластиков. Сб. ст. под ред. Я.И. Балбачана. – М.: Недра, 1962.
3. Заславский Ю.З., Дружко Е.Б. Новые виды крепи горных выработок. – М.: Недра, 1989.
4. Корзин Б.И. Исследование работы шахтных верхняков из стеклопластиков в типичных условиях тонких пологопадающих пластов Донецкого бассейна. – Автореф.... канд. дис. – М., 1967.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Кузьменком О.І.
Надійшла до редакції 27.05.09*

МЕТОД РАСЧЕТА ПРЕДЕЛА ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ ОБРАЗЦОВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПОСТОЯНСТВЕ КОНТАКТНОГО КАСАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Рассмотрен метод расчета предела прочности на сжатие образцов горных пород при постоянстве контактного касательного напряжения. Метод основан на теории предельного состояния горных пород в локальных областях.

Розглядається метод розрахунку межі міцності гірських порід на стискання при сталості дотичного напруження. Метод базується на теорії граничного стану гірської породи у локальних областях.

Considered method of calculation of strength limit of samples of rock on one-axis compression under single-line relationships between tangent strengths from external friction and normal strengths. Method is based on theories of limiting condition of rock in local areas.

В работе [1] разработан метод расчета предела прочности на сжатие образцов горных пород при линейной связи между контактными касательными τ_k и нормальными напряжениями σ_y согласно закону Кулона-Амонтона

$$\tau_k = f\sigma_y, \quad (1)$$

где f - коэффициент внешнего (контактного) трения.

При использовании этого закона возникают непреодолимые трудности точного интегрирования двух известных дифференциальных уравнений совместно с алгебраическим уравнением равновесия. Решение имеет место только в частном случае, когда поперечные напряжения σ_x равны продольным нормальным напряжениям σ_y и $d\sigma_y = d\sigma_x$. Разработанные методы предела прочности материала, основанные на этом принципе, не позволяют определять напряжения внутри материала [2]. В связи с этим авторы статьи [3] провели анализ о правомочности применения упомянутого закона для расчета предела прочности с позиций строгого соблюдения правил теории напряжений в материалах и пришли к выводу о несоблюдении закона о линейной связи между контактными напряжениями в предельном состоянии горных пород, так как этот закон даёт существенно завышенные результаты по сравнению с экспериментальными данными.

В работе [4] нами ранее была предпринята попытка использовать другой, более обоснованный подход к определению связи между напряжениями. В основу расчета распределения нормальных напряжений был положен метод Прандтля, разработанный для широкой полосы. Доказано, что точное решение задачи с использованием двух дифференциальных и одного алгебраического уравнения равновесия обеспечивается при постоянном значении контактного касательного напряжения τ_{xy} , которое изменяется вдоль действия нормального сжимающего напряжения по зависимости

$$\tau_{xy} = \tau_k \cdot \left(1 - \frac{2Y}{h}\right). \quad (2)$$

Принято считать, что при этом подходе достоверность обеспечивается вдали от боковых обнаженных граней, так в граничные условия заложено сохранение их прямолинейности, что не позволяет соблюсти закон парности касательных напряжений.

В реальных условиях вследствие деформирования боковые грани приобретают выпуклую форму в силу выпучивания свободных, обнаженных (бочкообразных) поверхностей с углом ψ между касательной к бочке и исходной свободной поверхности (рис.1).

Это дает нам основание для применения закона парности касательных напряжений в приконтурной области образца. Получено, что теоретическое распределение нормальных напряжений при постоянном значении касательных напряжений имеет вид выпуклого треугольника (рис.2), что подтверждено многочисленными экспериментальными данными [2].

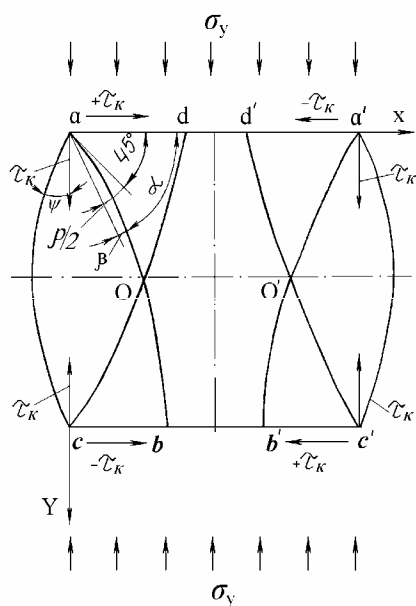


Рис. 1. Схема контактных нагрузок в образце горной породы при наличии внешнего трения

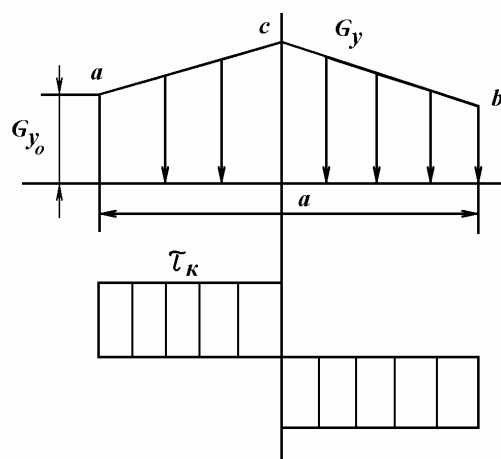


Рис. 2. Эпюры контактных нормальных σ_y и касательных τ_k напряжений

Распределение нормальных напряжений σ_y на контрактной поверхности описывается простой формулой

$$\sigma_y = \sigma_{y0} \left(1 + \frac{2f \cdot x}{h} \right), \quad (3)$$

где σ_{y0} – предел прочности в угловой точке a ;

Сила контактного давления на единицу длины образца равна

$$P = 2 \int_0^{a/2} \sigma_{y0} \cdot \left(1 + \frac{2f \cdot x}{h} \right) dx = \sigma_{y0} \cdot a \cdot \left(1 + \frac{f \cdot a}{2h} \right). \quad (4)$$

Удельное давление

$$p = \sigma_{y0} \left(1 + \frac{f \cdot a}{2h} \right). \quad (5)$$

Теперь с учетом этих положений предстоит разработать метод расчета предела прочности образцов горных пород на одноосное сжатие при постоянном значении контактного трения. Для разработки используем, как и раньше [1], критерий предельного состояния материалов с внутренним трением, по которому эффективные касательные напряжения по Кулону

$$\tau_{\alpha} = \tau_{\alpha} - \mu \sigma_{\alpha}, \quad (6)$$

где τ_{α} и σ_{α} – активные касательные и нормальные напряжения на наклонной плоскости, μ – коэффициент внутреннего трения.

Направление элементарных сил трения на контактной поверхности образца, и, следовательно, касательных напряжений, примем против деформаций. Оговорим правило знаков касательных напряжений. Касательные напряжения принимаются положительными, если они направлены вдоль одной из осей координат, а нормальные сжимающие напряжения – вдоль другой оси. Из этого следует, что на верхней левой половине образца касательные напряжения имеют положительный знак, а нижней – отрицательный. На правой половине – наоборот.

Значения τ_{α} и σ_{α} определяются из известных выражений [1]

$$\tau_{\alpha} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\alpha + \tau_k \cos 2\alpha, \quad (7)$$

$$\sigma_{\alpha} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\alpha - \tau_k \sin 2\alpha. \quad (8)$$

Подставив выражения (7) и (8) в формулу (6) и продифференцировав по α , находим выражение для определения наклона траектории максимальных касательных напряжений (линии скольжения), на которой эффективные касательные напряжения имеют максимальные значения.

$$\operatorname{tg} 2\alpha = -\frac{(\sigma_x - \sigma_y) - 2\mu \tau_k}{\mu(\sigma_x - \sigma_y) + 2\tau_k}. \quad (9)$$

Используя выражение (9), находим тригонометрические функции $\sin 2\alpha$ и $\cos 2\alpha$, после подстановки которых в выражение (7), имеем

$$\tau_{\alpha} = \frac{\cos \rho}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2}. \quad (10)$$

Далее продифференцируем по α выражение (8). После подстановки в полученную формулу тригонометрические функции получаем

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = -\cos \rho \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_k^2}. \quad (11)$$

Из сравнения выражений (10) и (11) вытекает, что

$$\frac{d\sigma_{\alpha}}{d\alpha} = -2\tau_{\alpha}. \quad (12)$$

По закону Кулона активные касательные напряжения τ_{α} равны сопротивлению материала сдвигу с учетом внутреннего трения с обратным знаком. По-

этому, подставив значение из уравнения (6) в (12), имеем важное дифференциальное уравнение предельного состояния на линии ξ

$$\frac{d\sigma_\alpha}{d\alpha} = 2(k + \mu\sigma_\alpha). \quad (13)$$

Аналогично поступим с выражениями на линии скольжения η , угол наклона которой равен $\pi - \alpha$.

Получим уравнение (13) со знаком минус множителя $(k + \mu\sigma_\alpha)$.

Решение уравнения (13) сводится к решению интеграла на линии скольжения между точками a и b

$$\int_{\sigma_{\alpha b}}^{\sigma_{\alpha a}} \frac{d(k + \mu\sigma_\alpha)}{\mu} = 2 \int_{\alpha_b}^{\alpha_a} d\alpha \quad (14)$$

Как видно, для решения этого уравнения нужно знать значения нормальных напряжений σ_α и углов α наклона линий скольжения в точках a и b .

На основании тригонометрических функций из уравнения (8) имеем

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sin \rho}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_\kappa^2} \quad (15)$$

Для определения суммы и подрадикального выражения найдем уравнение предельного состояния путем подстановки тригонометрических функций в выражение (6)

$$\tau_\eta = k = \frac{\cos \rho}{2} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_\kappa^2} - \mu \frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} \quad (16)$$

Откуда радикальное выражение

$$\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau_\kappa^2} = \frac{2k + \mu(\sigma_x + \sigma_y)}{\cos \rho} \quad (17)$$

Для определения суммы используем соотношение между поперечными и продольными нормальными напряжениями из работы [5]. На основании чего имеем

$$\frac{(\sigma_x + \sigma_y)}{2} = \frac{(k + \mu\sigma_y)}{\cos \rho} \left(\sin \rho - \sqrt{1 - b^2} \right) + \sigma_y, \quad (18)$$

где

$$b = \frac{\tau_\kappa}{k + \mu\sigma_y} \quad (19)$$

С учетом формул (17) и (18) преобразуем уравнение (15) к виду для точки b

$$\sigma_{\alpha b} = \sigma_y \left(1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_b^2} \right) - \tau_\kappa \cdot \cos \sqrt{1 - b_b^2} \quad (20)$$

В точке a внешняя нагрузка равна нулю. Поэтому

$$\sigma_{\alpha a} = \tau_\kappa \cdot \cos \sqrt{1 - b_a^2} \quad (21)$$

Теперь предстоит найти углы наклона α_a и α_b из выражения (9).

Преобразуем его к виду

$$\operatorname{tg} 2\alpha = - \frac{1 - \frac{2\mu\tau_k}{\sigma_x - \sigma_y}}{\mu + \frac{2\tau_k}{\sigma_x - \sigma_y}}. \quad (22)$$

Обозначим составляющую $\frac{2\tau_k}{\sigma_x - \sigma_y}$ через $\operatorname{tg} 2\beta$.

$$\text{Тогда} \quad \beta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{2\tau_k}{\sigma_x - \sigma_y}. \quad (23)$$

Как видно, для расчета угла β нужно знать разность $\sigma_x - \sigma_y$, которая определяется из уравнения (18)

$$\sigma_x - \sigma_y = \frac{2(k + \mu\sigma_y)}{\operatorname{Cos} \rho} \left(\operatorname{Sin} \rho - \sqrt{1 - b^2} \right). \quad (24)$$

Тогда, с учетом (19) угол

$$\beta = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{b \cdot \operatorname{Cos} \rho}{\operatorname{Sin} \rho - \sqrt{1 - b^2}}. \quad (25)$$

Угол поворота линии скольжения в точке b от касательных напряжений

$$\beta_b = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{-\tau_k \cdot \operatorname{Cos} \rho}{(k_b + \mu\sigma_y) \left(\operatorname{Sin} \rho - \sqrt{1 - b_b^2} \right)}, \quad (26)$$

а в точке a –

$$\beta_a = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{\tau_k \cdot \left(1 - \frac{2Y}{h} \right) \operatorname{Cos} \rho}{(k_n + \mu\sigma_y) \left(\operatorname{Sin} \rho - \sqrt{1 - b_a^2} \right)}. \quad (27)$$

Преобразуя выражение (22), находим

$$\alpha = 45 + \frac{\rho}{2} + \beta. \quad (28)$$

Угол наклона линии скольжения в точке a

$$\alpha_a = 45 + \frac{\rho}{2} - \beta_a. \quad (29)$$

Угол β_a имеет отрицательный знак при $\sqrt{1 - b_a^2} > \operatorname{Sin} \rho$. Угол β_b имеет положительный знак.

Поэтому угол α_b наклона линии скольжения в точке b

$$\alpha_b = 45 + \frac{\rho}{2} + \beta_a. \quad (30)$$

Тогда имеем общий угол поворота линии скольжения между точками b и a с учетом знаков β_b и β_a за счет разности α_b и α_a

$$\alpha_{ba} = \beta_b + \beta_a \quad (31)$$

Используя выражения (14), (20), (21) и (31) и опуская громоздкие преобразования, получим систему уравнений для расчета нормального сжимающего напряжения в угловой точке a образца горных пород на линии ξ

$$\left\{ \begin{array}{l} \sigma_{y0} = \frac{1}{\mu} \left[\frac{k_n \left(1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2} \right) \cdot e^{2\mu(\beta_b + \beta_a)}}{\left(1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2} \right)} - k_b \right] \\ \tau_b = \frac{\left(k_n + \mu \sigma_y \right) \left(1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2} \right)}{\left(1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2} \right) \cdot e^{4\mu\beta_b}} \end{array} \right. \quad (32)$$

С учетом распределения нормальных напряжений на контактной плоскости находим удельное давление, фиксируемое на прессе при раздавливании образцов горных пород

$$p = \frac{1}{\mu} \left[\frac{k_n \left(1 + \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2} \right) \cdot e^{2\mu(\beta_b + \beta_a)}}{\left(1 - \sin \rho \sqrt{1 - b_a^2} \right)} - k_b \right] \cdot \left(1 + \frac{f \cdot a}{2h} \right) \quad (33)$$

В зависимости от направления образования трещины, например, в направлении от точки a в точку b , в вершине трещины $k = k_n$ – пределу сопротивления материала чистому сдвигу.

Для определения предельного напряжения в точке d для линии скольжения η экспоненты имеют знак минус.

Выводы

1. Разработан метод расчета предела прочности образцов горных пород при одноосном сжатии и постоянном контактом касательном напряжении от внешнего трения с использованием двух дифференциальных и одного алгебраического уравнения. При предельном значении сжимающего напряжения в точках a или b при $\tau_s = k_n$ возникает трещина. В других областях материал деформируется упруго.
2. Применение метода при практических расчетах позволит повысить достоверность расчетных результатов с экспериментальными данными по сравнению с ранее разработанными методами.
3. В перспективе покажем, что трещина может развиваться только при увеличении продольной деформации, что позволяет рассчитать нормальные напряжения σ_y внутри материала в вершине трещины по мере ее движения и построить диаграммы «напряжение-продольная деформация».

Список литературы

1. Васильев Л.М., Васильев Д.Л. Метод расчета предела прочности горных пород на одноосное сжатие при линейной связи между контактными напряжениями // Геотехническая механика. – 2003.- Вып. 42.- Днепропетровск. – С. 42–48.
2. Сторожев М.В., Попов Е.А. Теория обработки металлов давлением. – М.: Машиностроение, 1977. – 423 с.
3. О правомочности применения закона о линейной связи между контактными напряжениями для расчета предела прочности горных пород / Васильев Л.М., Цепков К.В., и др. // Науковий вісник НГУ.- 2008.-№3.- Днепропетровск. – С 3-6.
4. Васильев Д.Л. Метод расчета распределения нормальных контактных напряжений в образцах горных пород при постоянном значении контактного трения // Геотехническая механика. – 2003.- Вып. 44.- Днепропетровск. – С. 37–44
5. Васильев Д.Л. Метод расчета горизонтальных напряжений в массивах горных пород // Геотехническая механика. – 2002.- Вып. 29.- Днепропетровск: ИГТМ НАНУ. – С. 161–165.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Новіковою Л.В.
Надійшла до редакції 25.05.09*

УДК 622.74:621.82/.85

© С.В. Савлук

ДИНАМИКА ВИБРОВОЗБУДИТЕЛЯ НАПРАВЛЕННОГО ДЕЙСТВИЯ, ОСНАЩЕННОГО УПРУГИМ СИНХРОНИЗАТОРОМ

Приведены результаты исследования конструктивных и физико-механических параметров упругого синхронизатора на режим работы вибровозбудителя.

Наведено результати дослідження конструктивних і фізико-механічних параметрів пружного синхронізатора на режим роботи вібровозбуджувача.

The results of research the parameters construction and physical-mechanical of elasticity synchronizer influence to operation vibrator are proposed.

В условиях неравномерного распределения технологической нагрузки на сито грохота и в случае различных коэффициентов трения в подшипниковых узлах самосинхронизирующегося вибровозбудителя и его приводных двигателей, нарушается режим прямолинейно-направленных колебаний рабочего органа вибрационного грохота, это приводит к снижению эффективности грохочения для различных материалов, классов отсева и других условий. Использование упругого синхронизатора в конструкции самосинхронизирующегося вибровозбудителя решает эту проблему. Упругий синхронизатор состоит из двух эксцентриков на валах вибровозбудителя соединенных рычагом, в конструкцию которого входит упругий элемент [1]. Для обеспечения надежной работы синхронизатора необходимо исследовать зависимость режимных параметров вибровозбудителя от конструктивных и физико-механических параметров упругого синхронизатора [2].

Эта цель может быть достигнута, за счет решения следующих задач:

- Исследовать нагрузки в элементах упругого синхронизатора в различных режимах при отклонениях фазного угла дебалансных валов от нуля;

- Исследовать влияние величины эксцентриситета втулок синхронизатора на зависимость деформации упругого элемента от угла поворота дебалансного вала;

Для решения поставленных задач была разработана математическая модель, которая описывает динамику системы «рабочий орган грохота – вибровозбудитель – привод – синхронизатор» (см. рис.1).

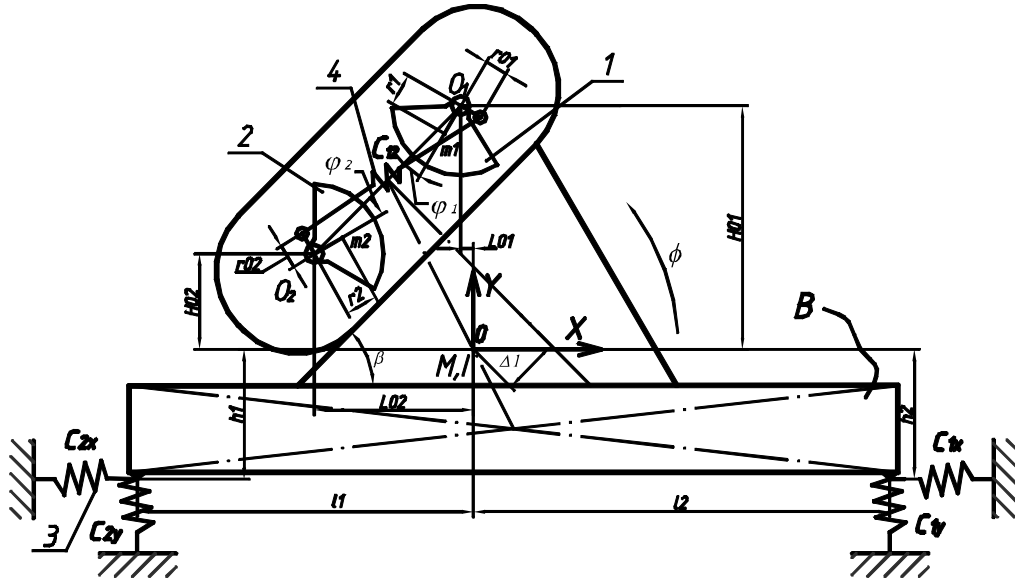


Рис. 1. Расчетная схема грохота с вибровозбудителем и упругим синхронизатором

Тело B (рис.1), массой M (без учета дебалансов), установлено на упругих опорах 3 с жесткостью C_{x1} , C_{y1} , C_{x2} , C_{y2} , в направлении осей x и y . I_c – момент инерции тела B относительно центральной оси, перпендикулярной плоскости xOy . На дебалансы 1 и 2, с массой m_1 и m_2 передается крутящий момент от двух независимых электродвигателей. Валы вибровозбудителя соединены между собой упругим синхронизатором 4, который выполнен в виде двух эксцентриков r_{01} и r_{02} на дебалансных валах 1 и 2 (в нашем случае $r_{01}=r_{02}$), соединительных рычагов и упругого элемента с жесткостью C_{12} между ними. На схеме использованы следующие обозначения: I_1 и I_2 – моменты инерции относительно оси вращения для первого и второго дебалансного вала соответственно;

$$\begin{aligned}
 & M\ddot{x} + m_1[\ddot{x} - H_{01}\ddot{\phi} + \ddot{\phi}_1 r_1 \cos \beta \sin \varphi_1] + m_2[\ddot{x} - H_{02}\ddot{\phi} - \ddot{\phi}_2 r_2 \cos \beta \sin \varphi_2] + \\
 & + C_{1x}(x + h_1\phi) + C_{2x}(x + h_2\phi) = 0 \\
 & M\ddot{y} + m_1[\ddot{y} - L_{01}\ddot{\phi} - \ddot{\phi}_1 r_1 \sin \beta \cos \varphi_1] + m_2[\ddot{y} - L_{02}\ddot{\phi} - \ddot{\phi}_2 r_2 \sin \beta \cos \varphi_2] + \\
 & + C_{1y}(y - l_1\phi) + C_{2y}(y + l_2\phi) = 0 \\
 & I_c\ddot{\phi} - m_1 H_{01}[\ddot{x} - \ddot{\phi} H_{01} + \ddot{\phi}_1 r_1 \cos \beta \sin \varphi_1] - m_1 L_{01}[\ddot{y} - L_{01}\ddot{\phi} - \ddot{\phi}_1 r_1 \sin \beta \cos \varphi_1] - \\
 & - m_2 H_{02}[\ddot{x} - \ddot{\phi} H_{02} - \ddot{\phi}_2 r_2 \cos \beta \sin \varphi_2] - m_2 L_{02}[\ddot{y} - L_{02}\ddot{\phi} - \ddot{\phi}_2 r_2 \sin \beta \cos \varphi_2] + \\
 & + C_{1x}h_1(x + h_1\phi) + C_{2x}h_2(x + h_2\phi) - C_{1y}l_1(y - l_1\phi) + C_{2y}l_2(y + l_2\phi) = 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& I_1 \ddot{\varphi}_1 + m_1 \left[r_1 \cos \beta \sin \varphi_1 (\ddot{x} - H_{01} \ddot{\varphi} + \dot{\varphi}_1 r_1 \cos \beta \sin \varphi_1) - \right. \\
& \left. - r_1 \sin \beta \cos \varphi_1 (\ddot{y} - L_{01} \ddot{\varphi} - \dot{\varphi}_1 r_1 \sin \beta \cos \varphi_1) \right] - \\
& - m_1 \dot{\varphi}_1 r_1 \left[(\dot{x} - H_{01} \dot{\varphi} + \dot{\varphi}_1 r_1 \cos \beta \sin \varphi_1) \cos \beta \cos \varphi_1 + \right. \\
& \left. + (\dot{y} - L_{01} \dot{\varphi} - \dot{\varphi}_1 r_1 \sin \beta \cos \varphi_1) \sin \beta \sin \varphi_1 \right] + \\
& + m_1 g r_1 \cos(\varphi_1 - \beta) + C_{12} X_1 = M_1(\varphi_1) - R_1(\varphi_1) \\
& I_2 \ddot{\varphi}_2 + m_2 \left[-r_2 \cos \beta \sin \varphi_2 [\ddot{x} - H_{02} \ddot{\varphi} - \dot{\varphi}_2 r_2 \cos \beta \sin \varphi_2] - \right. \\
& \left. - r_2 \sin \beta \cos \varphi_2 (\ddot{y} - L_{02} \ddot{\varphi} - \dot{\varphi}_2 r_2 \sin \beta \cos \varphi_2) \right] - \\
& - m_2 \dot{\varphi}_2 r_2 \left[(-\dot{x} + H_{02} \dot{\varphi} + \dot{\varphi}_2 r_2 \cos \beta \sin \varphi_2) \cos \beta \cos \varphi_2 + \right. \\
& \left. + (\dot{y} - L_{02} \dot{\varphi} - \dot{\varphi}_2 r_2 \sin \beta \cos \varphi_2) \sin \beta \sin \varphi_2 \right] - \\
& - m_2 g r_2 \cos(\varphi_2 + \beta) + C_{12} X_2 = M_2(\varphi_2) - R_2(\varphi_2)
\end{aligned}$$

H_{01}, H_{02} – проекция расстояний на ось Oy , от оси вращения дебалансного вала до центра масс системы, для первого и второго вала соответственно; L_{01}, L_{02} – проекция расстояний на ось Ox , от оси вращения вала до центра масс системы, для первого и второго дебалансного вала соответственно; l_{01}, l_{02} – проекция расстояний на ось Ox , от центра масс системы до первой и второй упругой опоры тела B соответственно; h_{01}, h_{02} – проекция расстояний на ось Oy , от центра масс системы до первой и второй упругой опоры тела B соответственно; β – угол наклона плоскости осей валов вибровозбудителя к горизонту; g – ускорение свободного падения; r_1, r_2 – эксцентриситет первого и второго дебалансного вала соответственно; $M_i(\varphi_i)$ – момент на валу i -го вала вибровозбудителя, $R_i(\varphi_i)$ – момент сопротивления.

Решение системы дифференциальных уравнений, численным методом, и анализ результатов, позволил получить следующие зависимости.

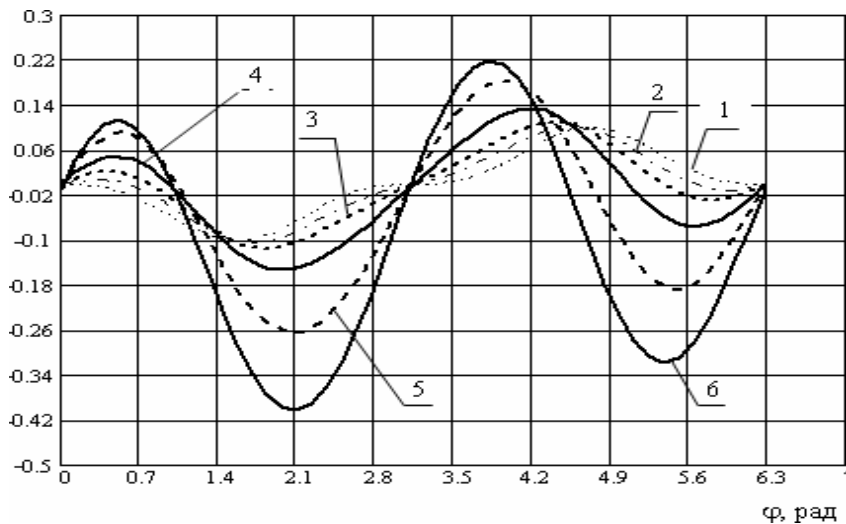


Рис. 2. График зависимости параметра сопротивления p_5 от угла поворота дебалансного вала, за один период вращения, для различных углов рассогласования фаз ξ .

1 – $\xi=0^\circ$; 2 – $\xi=3,75^\circ$; 3 – $\xi=7,5^\circ$;
4 – $\xi=15^\circ$; 5 – $\xi=30^\circ$; 6 – $\xi=45^\circ$.

Для оценки изменения момента сопротивления в упругом элементе синхронизатора, был введен параметр сопротивления p_5 :

$$p_5 = \frac{M_{sopr}}{M_{nom}} ;$$

где M_{sopr} – момент сопротивления упругого синхронизатора;

M_{nom} – момент приводного электродвигателя.

На рисунке 2 представлена функция параметра p_5 от угла поворота φ первого дебалансного вала для одного полного периода вращения вала вибровозбудителя, для различных углов рассогласования фаз.

Из анализа графика следует, что увеличение угла рассогласования дебалансных валов вибровозбудителя ведет к увеличению момента сопротивления, а, следовательно, при режиме вращения дебалансных валов в котором угол рассогласования фаз равен нулю или близок к нему момент сопротивления в упругом синхронизаторе наименьший. Известно, что любая система стремится к режиму с затратой минимума энергии, а так как скорость каждого приводного электродвигателя зависит от потребляемой мощности, поэтому скорость на приводных электродвигателях будет та, при которой образуются наименьшие сопротивления в упругом элементе синхронизатора, а это режим вращения дебалансов с наименьшим углом рассогласования фаз.

Рациональную жесткость упругого элемента можно представить в виде [2]:

$$C_{12} = \frac{k(M_{\max} - R_i)}{Xh} ,$$

где k – коэффициент режима,

$M_{\max}$ - максимальный момент на валу электродвигателя,

X - деформация упругого элемента,

h - плечо действия силы.

Экспериментальные исследования, проведенные автором, показали, что упругий синхронизатор может работать в двух режимах. В первом случае один из дебалансных валов вибровозбудителя может вращаться относительно второго, за счет величины деформации упругого элемента при максимальном моменте. Для этого случая $k < 1$. Во втором случае максимальный фазный угол между дебалансами зависит от соотношения эксцентриковых выступов на валах и жесткости упругого элемента, при этом $k > 1$. Для установления зависимостей между величиной эксцентриковых выступов и жесткостью упругого элемента синхронизатора были проведены теоретические исследования, результат которых приведен на рис. 3 и рис. 4. Исследовались только случаи где $r_{01}=r_{02}$. Величина эксцентрика изменялась от 5 до 50 мм, при межосевом расстоянии дебалансных валов 200 мм.

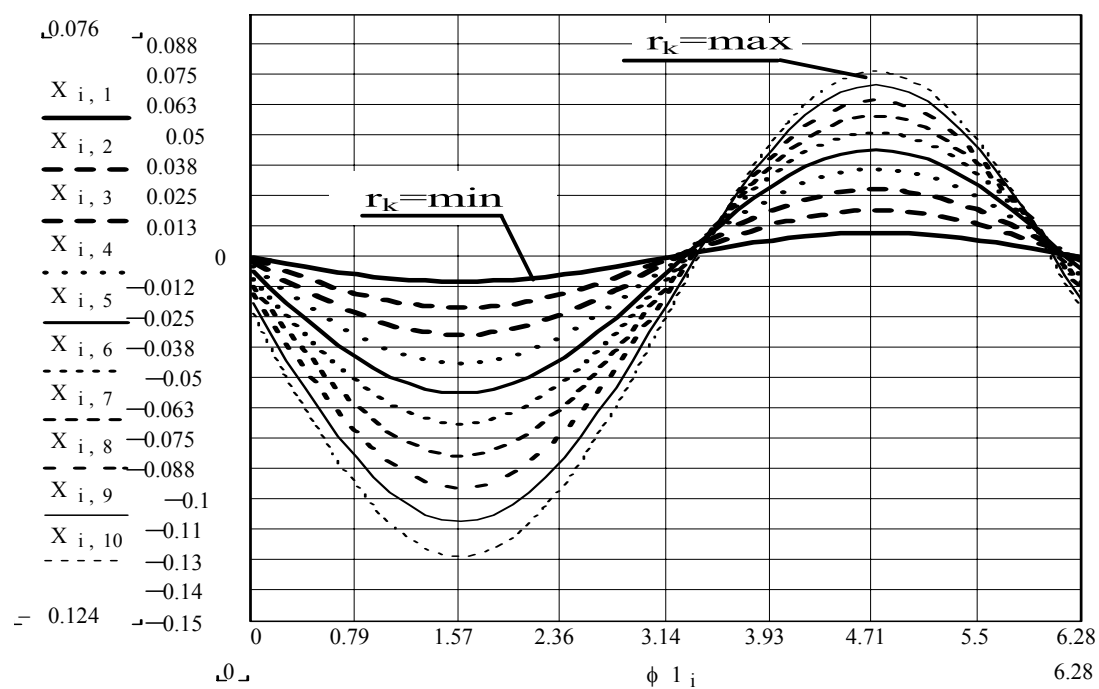


Рис. 3. График зависимости деформации X , упругого элемента, от угла поворота ϕ вала вибровозбудителя для различных эксцентриковых втулок синхронизатора, фазный угол 180° .

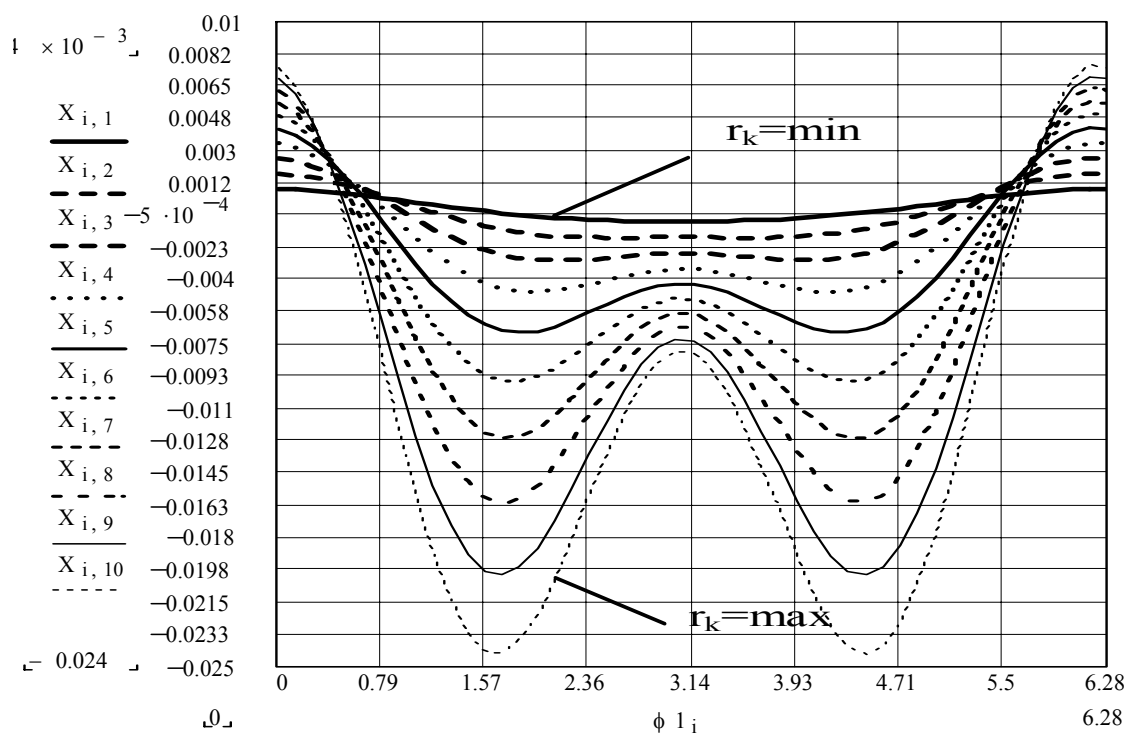


Рис. 4. График зависимости деформации X , упругого элемента от угла поворота ϕ вала вибровозбудителя за период вращения с фазным углом 10° .

Анализ графиков на рисунках, позволил сделать следующие выводы: 1) в момент, когда угол рассогласования $\xi=180^\circ$ большой эксцентриситет втулок синхронизатора способствует большому перемещению (или деформации) упругого элемента и значительным изменениям скорости в пределах одного цикла, что приводит к нарушению устойчивого режима вращения дебалансных валов с постоянной скоростью и минимальным углом; 2) малая величина эксцентриков способствует увеличению силы сопротивления синхронизатора и как следствие повышенным нагрузкам на него и подшипниковые узлы вибровозбудителя. Проанализировав результаты исследований, была выделена область рациональных параметров, что позволило ввести параметр эксцентриситета втулок синхронизатора:

$$k = \frac{(r_{\min} \dots r_{\max})}{l} = \frac{(5 \dots 10)}{200} = 0.025 \dots 0.05$$

где r – эксцентриситет втулок; l – межосевое расстояние.

Выводы: Анализ теоретических результатов, полученных при реализации рассчитанных математических моделей программными блоками в приложении MathCAD, позволил установить, что:

1) в режиме пуска или неустановившемся режиме вращения дебалансных валов вибровозбудителя при увеличении угла рассогласования фаз увеличивается момент сопротивления упругого синхронизатора. За счет этого фазный угол уменьшается и дебалансные валы вращаются в синхронно-синфазном режиме;

2) рациональную жесткость упругого элемента можно представить в виде:

$$C_{12} = \frac{k(M_{\max} - R_s)}{Xh};$$

3) рациональная величина параметра эксцентриситета втулок синхронизатора находится в пределах $k = 0.025 \dots 0.05$.

Дальнейшие исследования динамики упругого синхронизатора вибровозбудителя направленного действия можно посвятить изучению процесса деформации упругих элементов с нелинейной характеристикой.

Список литературы

1. Франчук В.П., Федоскін В.А., Савлук С.В. Вібраційний збудник. Патент №70116, з пріоритетом від 26.12.2003. Бюл.№9, 2007р.
2. Франчук В.П., Савлук С.В. Обоснование и выбор параметров упругого синхронизатора для вибровозбудителя направленного действия /Наук. праці ДонНТУ. Серія: "Гірниче-електромеханічна". Вип. 99. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – 318С.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Младецьким І.К.
Надійшла до редакції 25.03.09*

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДІЇ РОТОРНО-ВІДЦЕНТРОВОЇ ДРОБАРКИ

Исследовано процесс действия роторно-центробежной дробилки с самфутерованным ротором. Определены геометрические и кинематические параметры рабочих органов, необходимая мощность повода вращения ротора дробилки для установившегося процесса измельчения.

Досліджено процес дії роторно-відцентрової дробарки з самофутерованим ротором. Визначені геометричні і кінематичні параметри робочих органів, необхідна потужність приводу обертання ротора дробарки для сталого процесу подрібнення.

It is investigated process of action of a rotorno-centrifugal crusher. Geometrical and kinematic parameters of the working bodies, necessary capacity of an occasion of rotation of a rotor of a crusher for the established process of crushing are defined.

Вступ

Основне питання теорій подрібнення полягає у встановленні необхідних витрат енергії процесу дроблення. У зв'язку з численністю впливаючих чинників існуючі теорії подрібнення характеризують енерговитрати в загальному вигляді з урахуванням деформації шматків і утворення нових поверхонь. Енерговитрати, які ідуть на утворення нових поверхонь залежать від обраної ступені подрібнення. Енерговитрати, які ідуть на деформацію, залежать від способу навантаження матеріалу, який підлягає подрібненню[1, 2]. Для зниження енерговитрат деформації доцільно використовувати машини, в яких для подрібнення використовують види навантажень, при яких матеріал подрібнюється з меншими значеннями тисків. Для реалізації, цього принципу можуть використовуватись такі види навантаження як, злом, розколювання, стирання і удар.

Згадані вище види навантажень в достатній мірі реалізуються у процесі середнього та мілкового подрібнення за допомогою роторно-відцентрової дробарки. Роторно-відцентрова дробарка (рис. 1, рух матеріалу показано стрілками) представляє собою порожнистий корпус 1, в середині якого розташовано ротор 2, який приводиться у рух двигуном 3 за допомогою муфти 4.

Матеріал подається у верхню частину дробарки, де під впливом сили тяжіння потрапляє у ротор. Під дією відцентрової сили, матеріал спрямовується по каналах ротора в камеру подрібнення, яка являє собою футерований матеріалом порожнистий корпус дробарки. При проходженні через ротор дробарки, частинки матеріалу випробовують ударно-абразивну дію від контакту із стінками ротора, а також від зіткнення частинок матеріалу одна об одну. Подрібнення матеріалу відбувається за рахунок надання матеріалу необхідного значення швидкості, яке при ударі матеріалу об футеровку дробарки забезпечує подрібнення матеріалу.

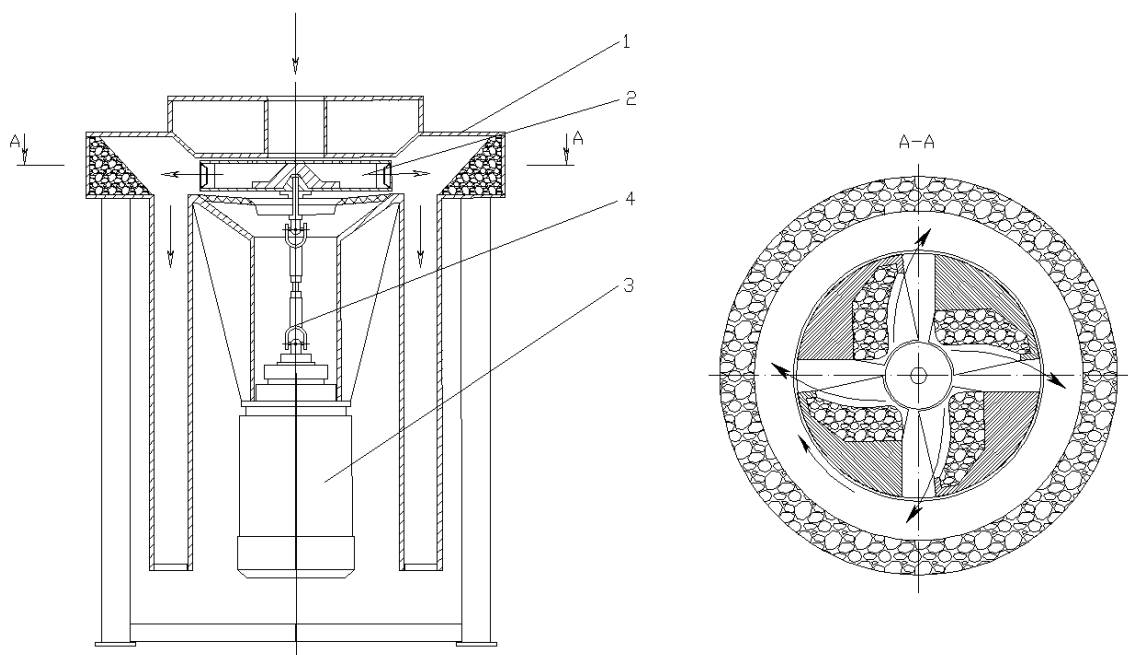


Рис. 1 Схема роторно-відцентрової дробарки

Постановка мети та задач досліджень

Описаний вище спосіб подрібнення знайшов велике застосування, але досі не існує методики розрахунку параметрів машин даного типу. Одним з найбільш важливих етапів проектування машин даного типу, на думку авторів, є визначення геометричних і кінематичних параметрів робочих органів, необхідної потужності приводу обертання ротора дробарки.

Результати роботи

Енергія, яка витрачається на обертання ротора W_{δ} , перетворюється на кінетичну енергію матеріалу $W_{\dot{\epsilon}^3 i} = \frac{mv^2}{2}$ і теплову енергію, яка утворюється в результаті тертя матеріалу по футеровці ротора $W_{\dot{o} \dot{a} \delta}$:

$$W_{\delta} = W_{\dot{\epsilon}^3 i} + W_{\dot{o} \dot{a} \delta}. \quad (1)$$

Кінетична енергія матеріалу, корисна складова, оскільки розігнаний матеріал, тільки за умови певного значення швидкості, ударяючись об футеровку, подрібнюється. Значення кінетичної енергії залежить лише від маси матеріалу і необхідної швидкості, яка визначається експериментально.

Витрати енергії на тертя матеріалу об елементи ротора в основному негативне явище, оскільки в більшій кількості енергія витрачається на нагрів і зношування елементів ротора, а в меншій на подрібнення матеріалу шляхом стирання. Значення енергії витраченої на тертя залежить від багатьох чинників: коефіцієнту тертя, траєкторії і швидкості руху матеріалу, сил, які діють на матеріал.

З метою визначення необхідної витрати енергії на тертя матеріалу розглянемо рух матеріалу при подрібненні роторно-відцентровою дробаркою (рис. 2). При потраплянні у ротор матеріал змінює вертикальний рух на горизонтальний за допомогою центрального конусу з радіусом основи R_{ϵ} . Під дією відцен-

трових сил матеріал прижимається до стінок ротора, утворюючи конуси, які виконують функцію футеровки. Кут нахилу дотичної конуса з напрямком обертального руху у довільно вибраній точці утворює кут природного скосу матеріалу φ . Враховуючи це, можливо описати траєкторію руху матеріалу відносно ротора в полярних координатах:

$$r(\alpha) = R_p + R_e \cdot \tan \varphi, \quad (2)$$

де R_p - радіус ротора; R_e - радіус конусу; φ - кут природного скосу матеріалу.

Кут α змінюється від 0 до $\alpha_e = \frac{R_\delta - R_e}{R_\delta \tan \varphi}$.

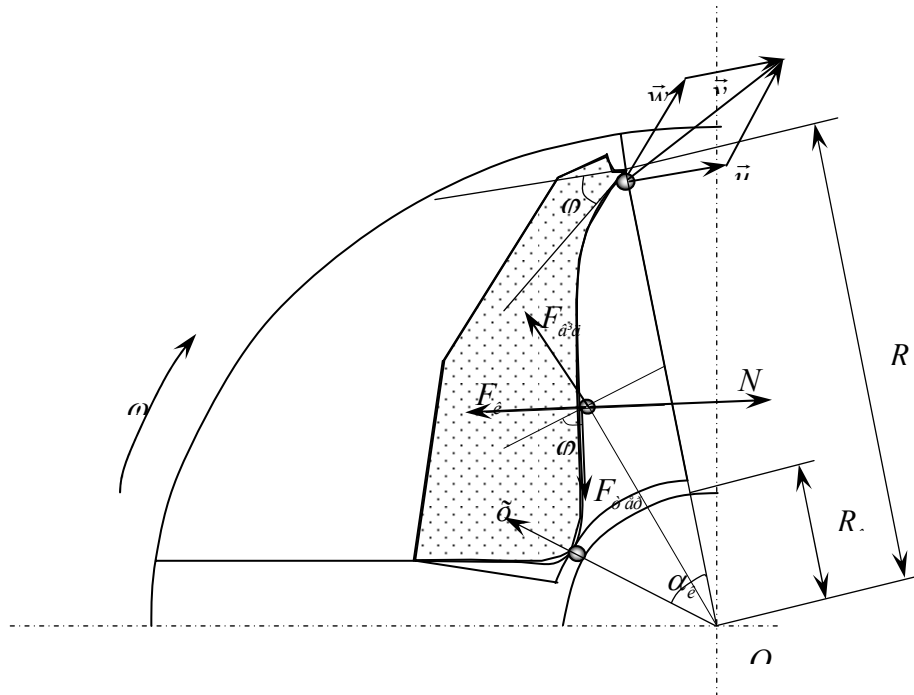


Рис. 2. Схема руху матеріалу в роторі

Матеріал, рухаючись відносно утвореного конусу футеровки, крім того, обертається з ротором, здійснює переносний рух. Сума відносної $\vec{w}$ і переносної швидкості $\vec{u}$ дає абсолютне значення руху матеріалу $\vec{v}$.

$$\vec{v} = \vec{w} + \vec{u}.$$

Для сталого процесу подрібнення матеріал повинен мати необхідне значення абсолютної швидкості. Виникає питання визначення відносної і переносної складових абсолютної швидкості. Значення переносної швидкості на виході з ротору дорівнює добутку кутової швидкості ротора ω і радіусу ротора R_δ :

$$u = \omega R_\delta. \quad (3)$$

Використовуючи теорему косинусів, отримуємо значення абсолютної швидкості матеріалу на виході з ротора $\vec{v}$:

$$v = \sqrt{w^2 + u^2 - 2 \cdot wu \cdot \cos(180^\circ - \varphi)}. \quad (4)$$

При русі матеріалу в роторі на його діють сила ваги, відцентрова сила $F_{a^3\ddot{a}}$, сила Коріоліса $F_{\dot{e}}$, реакція опори N , сили тертя $F_{\dot{o} \dot{a} \dot{o}}$ матеріалу по футеровці. При нормальній роботі ротора частинки матеріалу рухаються одна за одною з постійним збільшенням інтервалу між ними, тому їх взаємодією можливо знехтувати. Відповідно до теореми про приріст живої сили при русі матеріальної точки, робота зовнішніх сил дорівнює зміні кінетичної енергії:

$$\Delta \frac{mw^2}{2} = A_{a^3\ddot{a}} - A_{\dot{o} \dot{a} \dot{o}}, \quad (5)$$

де $\Delta \frac{mv^2}{2}$ - зміна кінетичної енергії;

$A_{a^3\ddot{a}}$ - робота відцентрової сили;

$A_{\dot{o} \dot{a} \dot{o}}$ - робота сил тертя .

Значення і напрямки згаданих вище сил, які діють на матеріал, змінюються в процесі руху частинки матеріалу.

Дослідження руху тіл у полі відцентрових сил [2] показують лінійну зміну відносної швидкості при русі частинки від центру ротора до його периферії. Тому, запропонуємо для нашого випадку лінійний закон розподілу відносної швидкості:

$$w(\alpha) = \frac{w}{\alpha_{\dot{e}}} \alpha .$$

Робота відцентрових сил:

$$\begin{aligned} A_{a^3\ddot{a},\dot{e}} &= \int_0^{\alpha_{\dot{e}}} F_{a^3\ddot{a}}(\alpha) \cdot \Delta r(\alpha) \cos \varphi d\alpha = \int_0^{\alpha_{\dot{e}}} m\omega^2 r(\alpha) \Delta r(\alpha) \cos \varphi d\alpha = \\ &= \int_0^{\alpha_{\dot{e}}} m\omega^2 (R_{\dot{e}} + R_p \tan \varphi \cdot \alpha) \cdot R_p \tan \varphi \cdot \alpha \cos \varphi d\alpha = \frac{m\omega^2 \alpha_{\dot{e}}^2 R_p \sin \varphi (3R_{\dot{e}} + 2R_p \alpha_{\dot{e}} \tan \varphi)}{6}. \end{aligned} \quad (6)$$

Значення роботи сил тертя $A_{\dot{o} \dot{a} \dot{o}}$:

$$\begin{aligned} A_{\dot{o} \dot{a} \dot{o}, N} &= \int_0^{\alpha} F_{\dot{o} \dot{a} \dot{o}}(\alpha) \cdot \Delta l(\alpha) d\alpha = \\ &= \int_0^{\alpha} ((F_{a^3\ddot{a}} \cos \varphi + F_{\dot{e} \dot{a} \dot{o}}) \mu) \cdot \left(\int_0^{\alpha} \sqrt{(R_{\dot{e}} + R_{\dot{o}} \alpha \cdot \tan \varphi)^2 + (R_p \tan \varphi)^2} d\alpha \right) d\alpha, \end{aligned} \quad (7)$$

де $\Delta l(\alpha)$ - довжина кривої по якій рухається матеріал.

Розкладемо вираз $\sqrt{(R_{\dot{e}} + R_{\dot{o}} \alpha \cdot \tan \varphi)^2 + (R_p \tan \varphi)^2}$ в ряд:

$$\sqrt{(R_{\hat{e}} + R_{\delta}\alpha \cdot \tan \varphi)^2 + (R_p \tan \varphi)^2} = \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2} + \frac{R_{\hat{e}}R_{\delta}\alpha \cdot \tan \varphi}{\sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2}} +$$

$$\alpha^2 \left((R_p \tan \varphi)^2 \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2} - \frac{R_{\hat{e}}^2 (R_p \tan \varphi)^2}{\sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2}} \right)$$

$$+ \frac{\dots}{2(R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2)} + \dots \quad (8)$$

Інтегруємо вираз (8), перші дві складові ряду (оскільки наступними складовими можливо знехтувати у наслідок їх малого значення порівняно з першими двома складовими):

$$\int_0^{\alpha} \sqrt{(R_{\hat{e}} + R_{\delta}\alpha \cdot \tan \varphi)^2 + (R_p \tan \varphi)^2} d\alpha = \int_0^{\alpha} \left(\sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2} + \frac{R_{\hat{e}}R_{\delta}\alpha \cdot \tan \varphi}{\sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2}} \right) d\alpha =$$

$$= \alpha \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2} + \frac{R_{\hat{e}}R_{\delta}\alpha^2 \cdot \tan \varphi}{2\sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2}} \quad (9)$$

Відцентрова сила $F_{\hat{a}^3\ddot{a}}$ змінюється лінійно, тому її значення при визначенні роботи тертя з визначеною точністю, можливо представити:

$$F_{\hat{a}^3\ddot{a}} = \frac{m\omega^2 R_{\delta}}{\alpha_{\hat{e}}} \alpha. \quad (10)$$

Враховуючи вирази (9, 10), робота сил тертя і нормальної складової реакції опори $A_{\hat{o}\hat{a}\delta,N}$:

$$A_{\hat{o}\hat{a}\delta} = \int_0^{\alpha_{\hat{e}}} \left(\left(\frac{m\omega^2 R_{\delta}}{\alpha_{\hat{e}}} \alpha \cos \varphi + 2m \frac{w}{\alpha_{\hat{e}}} \alpha \omega \right) \mu \right) \cdot \left(\alpha \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2} + \frac{R_{\hat{e}}R_{\delta}\alpha^2 \cdot \tan \varphi}{2\sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_p \tan \varphi)^2}} \right) d\alpha =$$

$$= \mu m \left(\omega^2 R_{\delta} \cos \varphi + 2w\omega \right) \left(\frac{\alpha_{\hat{e}}^2}{3} \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_{\delta} \tan \varphi)^2} + \frac{\alpha_{\hat{e}}^3 R_{\hat{e}} R_{\delta} \tan \varphi}{8\sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_{\delta} \tan \varphi)^2}} \right) \quad (11)$$

Підставляючи значення для $A_{\hat{a}^3\ddot{a}}$ і $A_{\hat{o}\hat{a}\delta}$ у рівняння (5), знайдемо значення відносної швидкості w :

$$w = \sqrt{2a + (2\mu\omega b \sin \varphi)^2 - \mu\omega^2 b \cos \varphi R_{\delta} - 2\mu\omega b}, \quad (12)$$

$$\text{де } a = \frac{m\omega^2 \alpha_{\hat{e}}^2 R_p \sin \varphi (3R_{\hat{e}} + 2R_p \alpha_{\hat{e}} \tan \varphi)}{6}, \quad b = \frac{\alpha_{\hat{e}}^2}{3} \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_{\delta} \tan \varphi)^2} + \frac{\alpha_{\hat{e}}^3 R_{\hat{e}} R_{\delta} \tan \varphi}{8\sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_{\delta} \tan \varphi)^2}}.$$

Визначивши значення складових рівняння (4), можливо одержати залежність зміни абсолютної швидкості від геометричних параметрів дробарки і властивостей матеріалу при різних швидкостях обертання ротора (рис. 3).

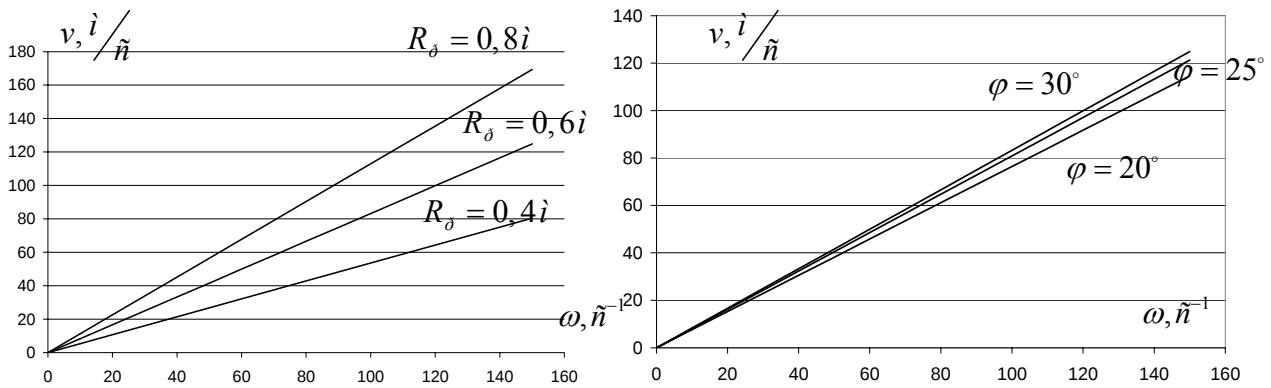


Рис. 3. Графіки зміни абсолютної швидкості від швидкості обертання ротора

Як видно із графіків (рис. 3), з зростанням швидкості обертання ротора ω і радіуса ротора R_δ , швидкість матеріалу v також буде зрости, що може дозволити зменшити розміри ротора за рахунок збільшення швидкості його обертання. Слід відзначити низький вплив кута природного скосу φ на значення абсолютної швидкості. Зменшення кута природного скосу φ призводить до невеликого зменшення абсолютної швидкості, це пояснюється компенсацією значення малої відносної швидкості при зменшенні значення φ збільшенням кута між складовими абсолютної швидкості $\vec{v}$ і $\vec{u}$.

Аналіз залежності (8) показує, що збільшення коефіцієнту тертя μ призведе до зменшення відносної швидкості, і як наслідок, до зменшення абсолютної. Це пояснюється збільшеними витратами енергії на тертя при русі матеріалу.

Знайдені складові рівняння необхідної енергії для обертання ротора $W_\delta(1)$, дозволяють знайти його значення:

$$W_\delta = \frac{mv^2}{2} + \mu m \left(\omega^2 R_\delta \cos \varphi + 2\omega\omega \right) \left(\frac{\alpha_{\hat{e}}^2}{3} \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_\delta \tan \varphi)^2} + \frac{\alpha_{\hat{e}}^3 R_{\hat{e}} R_\delta \tan \varphi}{8 \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_\delta \tan \varphi)^2}} \right). \quad (13)$$

Розділивши ліву і праву частини на час Δt , отримаємо залежність потужності обертання ротора N_δ від масова продуктивності дробарки:

$$N_\delta = Q \left(\frac{v^2}{2} + \mu m \left(\omega^2 R_\delta \cos \varphi + 2\omega\omega \right) \left(\frac{\alpha_{\hat{e}}^2}{3} \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_\delta \tan \varphi)^2} + \frac{\alpha_{\hat{e}}^3 R_{\hat{e}} R_\delta \tan \varphi}{8 \sqrt{R_{\hat{e}}^2 + (R_\delta \tan \varphi)^2}} \right) \right). \quad (14)$$

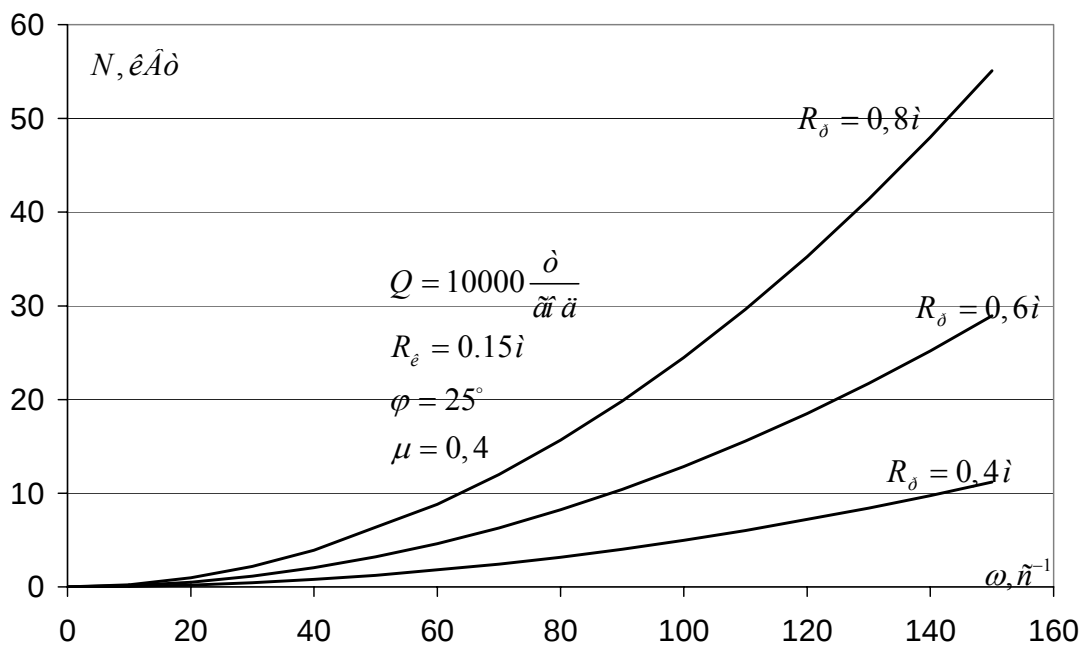


Рис. 4. Графік зміни потужності від частоти обертання ротора

Як видно з графіка (рис. 4), зміни потужності від частоти обертання ротора, збільшення радіусу ротора і збільшення швидкості обертання призводить до різкого збільшення потужності. Однак слід відмітити, що необхідна максимальна швидкість для нормального проходження процесу подрібнення знаходиться у межах $50 - 70 \frac{i}{\tilde{n}}$, тому кожному значенню R_p буде відповідати певне значення кутової швидкості. Це обмежить необхідну кутову швидкість і як наслідок, необхідну потужність обертання ротора.

Висновки

Запропоновані залежності дозволяють визначити необхідну потужність приводу від геометричних параметрів ротора і фізико-механічних властивостей матеріалу, що дозволить створювати нові машини даного типу.

Встановлення залежностей кінематичних характеристик від властивостей матеріалу і геометричних параметрів процесу подрібнення роторно-відцентровою дробаркою дозволить також запропонувати більш досконалу форму дна ротора, яка дозволить зменшити процес зносу футеровки.

Список літератури

1. Назаренко І.І. Машини для виробництва будівельних матеріалів: Підручник. - К.:КНУБА, 1999. - 488 с.
2. Борщевский А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий.-М.:Высш.шк.,1987.-368 с.
3. Коптев А.А. Движение жидкости в центробежных полях. Ч. I. Течение жидкости вблизи вращающегося диска. - М.: "Издательство Машиностроение-1", 2005. - 240 с

Рекомендовано до публікації д.т.н. Франчуком В.П.
Надійшла до редакції 14.04.09

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛ ПРИ ЗАЩЕМЛЕНИИ ИЗМЕЛЬЧАЕМОЙ ЧАСТИЦЫ В КОНУСНОЙ ВАЛКОВОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Определено положение шарообразной частицы в конусной мельнице в начальный момент ее защемления и разрушения.

Визначено положення кулястої частки в конусному млині у початковий момент її защемлення та руйнування.

The position of a spherical fragment in a conical grinding mill in the initial moment of its pinch and destructions is determined.

Выполненный ранее анализ распределения сил, возникающих в момент измельчения частицы между навивкой конуса и корпусом в камере мельницы, показывает, что на величину и характер приложения сил, даже если частица имеет форму параллелепипеда, влияют только два фактора: 1) к конусу частица должна прилегать по его образующей; 2) в контакт с корпусом частица должна вступать в одной точке [1, 2]. Следовательно, остальная часть поверхности частицы может быть произвольной – лишь бы удовлетворялись указанные условия. В частности, оставшаяся часть поверхности может быть прерывистой.

Целью дальнейших исследований является определение распределения сил, действующих на защемленную частицу, когда степень ее свободы ограничена и начинается процесс разрушения.

В период работы мельницы, двигаясь в зазоре между корпусом и конусом, частица в некоторый момент времени займет такое положение, в котором она одновременно будет касаться корпуса и конуса в точках К и К₁, соответственно (рис. 1).

В этом случае возможно одно из двух положений частицы, изображенных на рис. 1, а, б. Если частица займет положение, изображенное на рис. 1, а, то возникнет момент

$$M_K = N_1 a_1 + P c_1,$$

который будет стремиться повернуть частицу по часовой стрелке около неподвижной точки К. Если же частица займет положение, изображенное на рис. 1, б, то возникнет момент

$$M_{K_1} = N k + P d,$$

который будет стремиться повернуть частицу против часовой стрелки около неподвижной точки К₁. В любом из этих двух случаев поворот частицы будет осуществляться до тех пор, пока она не займет такое положение, при котором дальнейший поворот без возврата назад станет невозможным.

Таким образом, в начальный момент защемления частица произвольной формы будет занимать положение, изображенное на рис. 2.

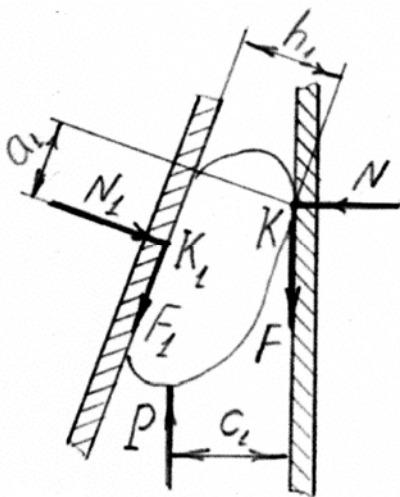


Рис. 1. Возможные повороты частицы в профиле

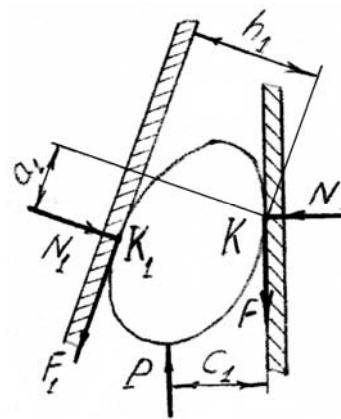
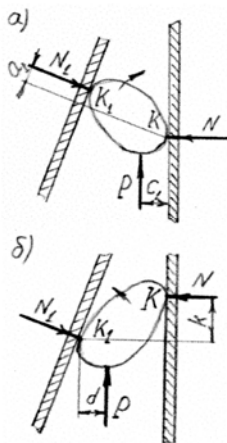


Рис. 2. Схема начального защемления частицы

Конкретное положение частицы, при котором ее дальнейший поворот станет невозможным, зависит от формы частицы, по крайней мере – от формы поверхностей, прилегающих к корпусу и конусу. По мере измельчения частицы приобретают все более округлую форму, поэтому необходимо проследить, как будет выглядеть это крайнее положение частицы на некоторых примерах.

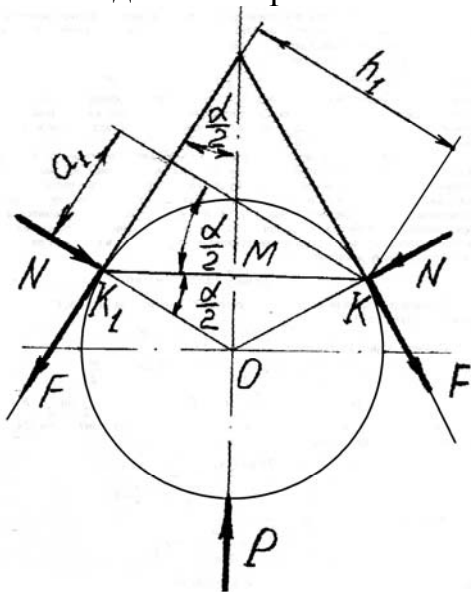


Рис. 3. Схема сил, действующих на шарообразную частицу при симметричном нагружении

Начнем с наиболее простой для анализа формы частицы – шарообразной. В начальный момент защемления частица такой формы займет положение, изображенное на рис. 3. Формально, частица в таком положении может вращаться относительно центра шара O , но перемещаться в вертикальном (на рисунке) направлении вверх без деформации частица не сможет.

На этом этапе важно отметить, что плечи a_1 и h_1 моментов сил N_1 и F_1 относительно точки K не будут зависеть от величин действующих сил, а будут определяться исключительно геометрическими соображениями. Так, из треугольника OMK (рис. 3) следует

$$a_1 - OM = R \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Далее, из треугольника ACK имеем $h_1 - CK = AK \cdot \cos \alpha$; $AK = AO + OK$.

Из треугольника AOK получаем $AO = \frac{R}{\cos \alpha}$; поэтому

$$AK = R \left(1 + \frac{1}{\cos \alpha} \right); \quad h_1 = R(1 + \cos \alpha). \quad (2)$$

В случае отсутствия трения, проекции на вертикальную и горизонтальные оси действующих на частицу сил (рис. 3) приводят к равенствам: $N_1 \sin \alpha = P$; $N_1 \cos \alpha = N$, откуда следует

$$N_1 = \frac{P}{\sin \alpha}; \quad N = P \operatorname{ctg} \alpha, \quad (3)$$

Если же силы трения имеют максимальные предельные значения $F = Nf$ и $F_1 = (N_1 - P \sin \alpha) f_1$, то проекции сил, действующих на частицу, на вертикальную и горизонтальные оси, образуют равенства:

$$\begin{aligned} N_1 \sin \alpha + N_1 f_1 \cos \alpha + Nf &= P; \\ N_1 \cos \alpha + N_1 f_1 \sin \alpha &= N. \end{aligned}$$

Из этих равенств следует, что

$$\begin{aligned} N_1 &= \frac{P}{\sin \alpha + f_1 \cos \alpha + f(\cos \alpha + f_1 \sin \alpha)}; \\ N &= \frac{P(\cos \alpha + f_1 \sin \alpha)}{\sin \alpha + f_1 \cos \alpha + f(\cos \alpha + f_1 \sin \alpha)}. \end{aligned} \quad (4)$$

В соответствии с предложенным методом предельные значения сил трения [2], значение силы реакции N будет некоторой величиной, заключенной между значениями правых частей равенств (3) и (4). Значение силы реакции N_1 – некоторой величиной, заключенной между значениями правых частей равенств (3) и (4), значения сил трения F и F_1 – некоторыми величинами, заключенными между нулем и значениями правых частей соответствующих приведенных выше равенств. Следует заметить, что при вычислении значений сил реакции, особенно сил трения F и F_1 , необходимо следить за тем, чтобы получаемые в процессе вычислений значения сил трения не превосходили предельные значения.

Следует также заметить, что значения сил реакции могут оказаться неопределенными, даже в случаях, когда система является статически определимой. В качестве примера рассмотрим частицу шарообразной формы, расположенную в зазоре между конусом и корпусом при усилии заталкивания P , направленными не вдоль продольной оси мельницы, а под углом $\alpha/2$ к этой оси. Отклонение толкающего усилия от продольного направления вполне возможно в случаях, когда толкание частицы осуществляется не шнековой навивкой на конусе, а соседними частицами. В этом случае точка приложения толкающего усилия к частице, а также его направлению будут зависеть от взаимного расположения взаимодействующих частиц.

В рассматриваемом примере положение шарообразной частицы в момент начала заземления и схема действующих на частицу сил представлены на рис. 4.

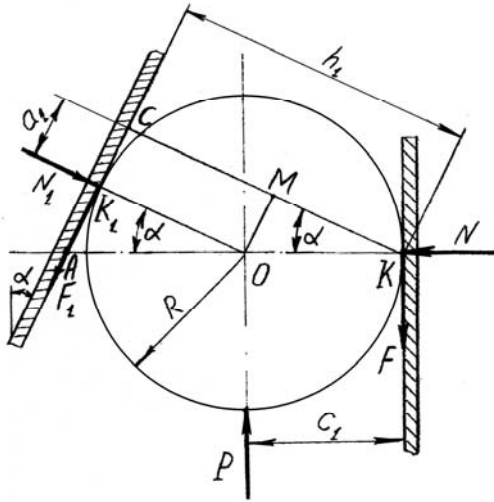


Рис. 4. Начальное заземление шарообразной частицы

Если учитывать симметричность линии действия силы, характер нагружения частицы, то в данном случае $F = F_1$ и $N = N_1$. Таким образом, в частном случае неизвестными оказываются только две силы – F и N . Поэтому система становится статически определимой. При этом условие равенства нулю всех действующих на частицу сил в проекции на горизонтальную ось приводит к тождественному равенству, а в проекции на вертикальную ось – к следующему равенству

$$2N \sin \frac{\alpha}{2} + 2F \cos \frac{\alpha}{2} - P = 0. \quad (5)$$

Условие равенства нулю суммы моментов, действующих на частицу, относительно точки К (рис. 4) имеет вид

$$Na_1 + Fh_1 - P \cdot MK = 0. \quad (6)$$

Основываясь на данных рис. 4, можно записать

$$MK = R \cos \frac{\alpha}{2}; \quad KK_1 = 2MK = 2R \cos \frac{\alpha}{2};$$

$$h_1 = KK_1 \cos \frac{\alpha}{2} = 2R \cos^2 \frac{\alpha}{2};$$

$$a_1 = KK_1 \sin \frac{\alpha}{2} = 2R \cos \frac{\alpha}{2} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} = R \sin \alpha.$$

Подставляя эти вычисленные значения расстояний в (6) и используя (5), получаем систему уравнений для определения неизвестных F и N :

$$\begin{aligned} 2N \sin \frac{\alpha}{2} + 2F \cos \frac{\alpha}{2} - P &= 0; \\ N \sin \alpha + 2F \cos^2 \frac{\alpha}{2} - P \cos \frac{\alpha}{2} &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Из первого уравнения (7) следует

$$F = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} - N \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}. \quad (8)$$

Подставляя это значение F во второе уравнение (8), получаем

$$N = \left(\sin \alpha - 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) + P \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha}{2} \right) = 0.$$

И так как $2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \sin \alpha$, то последнее равенство обращается в тождество $0 = 0$. Такая неопределенность возникает оттого, что определитель системы (7) равен нулю

$$\begin{vmatrix} 2 \sin \frac{\alpha}{2} & 2 \cos \frac{\alpha}{2} \\ \sin \alpha & 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} \end{vmatrix} = 4 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} - 4 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos^2 \frac{\alpha}{2} = 0.$$

В то же время ранг расширенной матрицы системы (7), то есть матрицы

$$\left\| \begin{array}{cc} 2 \sin \frac{\alpha}{2} & 2 \cos \frac{\alpha}{2} & P \\ \sin \alpha & 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} & P \cos \frac{\alpha}{2} \end{array} \right\|, \quad (9)$$

так же, как и матрицы определителя системы, равен единице. Это утверждение справедливо оттого, что два определителя матрицы (9), отличные от определителя системы, равны нулю

$$\begin{vmatrix} 2 \sin \frac{\alpha}{2} & P \\ \sin \alpha & P \cos \frac{\alpha}{2} \end{vmatrix} = P \left(\sin \alpha - 2 \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \cos \frac{\alpha}{2} \right) = 0;$$

$$\begin{vmatrix} 2 \cos \frac{\alpha}{2} & P \\ 2 \cos^2 \frac{\alpha}{2} & P \cos \frac{\alpha}{2} \end{vmatrix} = 2P \left(\cos^2 \frac{\alpha}{2} - \cos^2 \frac{\alpha}{2} \right) = 0.$$

Поскольку ранги основной матрицы системы (7) и расширенной матрицы этой системы равны, то в соответствии с теоремой Кронеккера-Канелли система (7) имеет бесконечное множество решений.

Следует отметить, что аналогичная неопределенность в определении реакций корпуса и конуса, а также сил трения между частицей и этими элементами конструкции будет иметь место не только для шарообразной частицы. Все приведенные выше рассуждения и вычисления справедливы, если частица имеет произвольную форму, но выполняются два следующих условия: сила P направлена не вдоль продольной оси мельницы, а под углом $\frac{\alpha}{2}$ к этой оси и точки контакта K и K_1 симметричны относительно линии действия силы P . Определение положения шарообразной частицы в начальный момент защемления существенно упрощается в связи с тем, что поперечный размер частицы в любом положении равен ее диаметру. Для частиц иной формы возникает необходимость, прежде всего, определить, в каком положении частица вступит в фазу начального защемления.

Список литературы

1. Надутый В.П., Остапенко В.А., Сухарев В.В. Определение влияния формы частицы на распределение сил при измельчении в конусной валковой мельнице / Науковий вісник НГУ. – Дніпропетровськ. – Вип. 4. – 2009. – С. 27–32.
2. Надутый В.П., Остапенко В.А., Сухарев В.В. Распределение сил при измельчении частицы горной массы в конусной валковой мельнице с учетом сил трения / Сборник ПолтНТУ. – 2009. – С. 44–53.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Франчуком В.П.
Надійшла до редакції 06.04.09*

УДК 622.333:658.512.65.011

© И.В. Козина

ОПЕРАТИВНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛЬНЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В ЗАБОЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСШИРЕННОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Приведены результаты применения расширенного метода анализа иерархий для оперативной обработки материальных и информационных потоках угольных шахт.

Наведені результати застосування розширеного методу аналізу ієрархій для оперативної обробки матеріальних та інформаційних потоків вугільних шахт.

The results of expanded analysis hierarchy of method for effective processing of supplementary freight-flow and informational flow of coal mines is considered.

Введение. Улучшение технико-экономических показателей работы угольной промышленности может быть достигнуто за счет применения прогрессивных способов добычи полезных ископаемых, ускорения темпов внедрения достижений научно-технического прогресса, повышения уровня организации производства, совершенствования системы управления технологическими и информационными процессами.

Угольная шахта, как и любое другое предприятие, является сложной динамической системой с повторением циклов и процессов производства.

Динамичное производство угольной шахты способно переходить из одного состояния в другое – выполнять или не выполнять план-график добычи и отгрузки угля.

Шахта имеет управляемую систему, которая осуществляет процесс производства, и управляющую – управление производственной и хозяйственной деятельностью предприятия, находящиеся в постоянной взаимосвязи и зависимости.

Управляющая система, в результате анализа производственной информации, должна выработать такие решения, отдать такие управляющие команды, распоряжения, реализация которых должна привести производство в состояние, наиболее полно отвечающее задаче выполнения плана.

Для своевременного выполнения заказов шахты на доставку материалов и оборудования постоянно прибегают к экспертной оценке используемых видов транспортных средств и перевозчиков - посредников, участвующих в доставке грузов потребителю [1].

Однако до настоящего времени в задачах о доставке материалов и оборудования в забои угольных шахт не применялось прогнозирование экспертами оценок приоритетных альтернатив в форме зависимости от времени.

Целью работы является применение расширенного метода анализа иерархий для оперативной обработки материальных и информационных потоков в забоях угольных шахт.

Управляемая система угольной шахты представляет собой сложную иерархическую структуру (рис. 1).

Одними из основных звеньев управляемой системы на шахте являются добычные и подготовительные участки, внутришахтный транспорт, стационарные установки, угольный и породный технологические комплексы поверхности, вспомогательные цехи и службы.

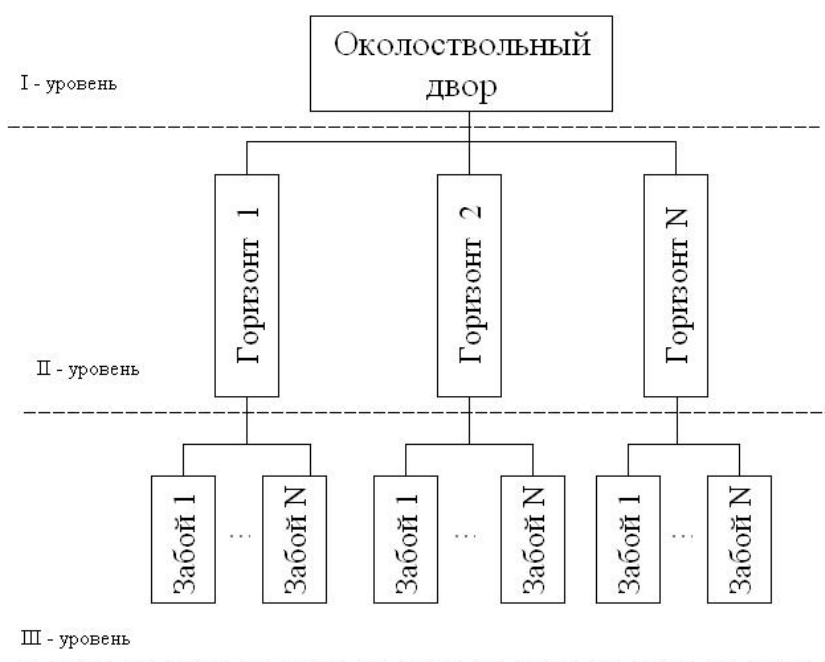


Рис.1. Иерархическая структура управляемой системы угольной шахты

Подсистема диспетчерского управления (диспетчерская служба и участки внутришахтного транспорта) является важным звеном сложной информационной системы, которая обеспечивает эффективность работы технологических схем внутришахтных грузопотоков.

Основной целью подсистемы диспетчерского управления является выявление потребностей в материальных и информационных потоках, определении режимов их перемещения, а также в выработке наиболее рациональных форм и методов доставки в необходимые сроки.

Для решения вопроса доставки вспомогательных материалов и оборудования, а также сопровождающих их информационных потоков, воспользуемся расширенным методом анализа иерархий, который является систематической процедурой при иерархическом представлении элементов.

Решение задачи сводится к выбору определения маршрута доставки вспомогательных материалов и оборудования одного из трех маршрутов к соответствующим забоям (Z_1, Z_2, Z_3) угольной шахты, от которых поступили заявки.

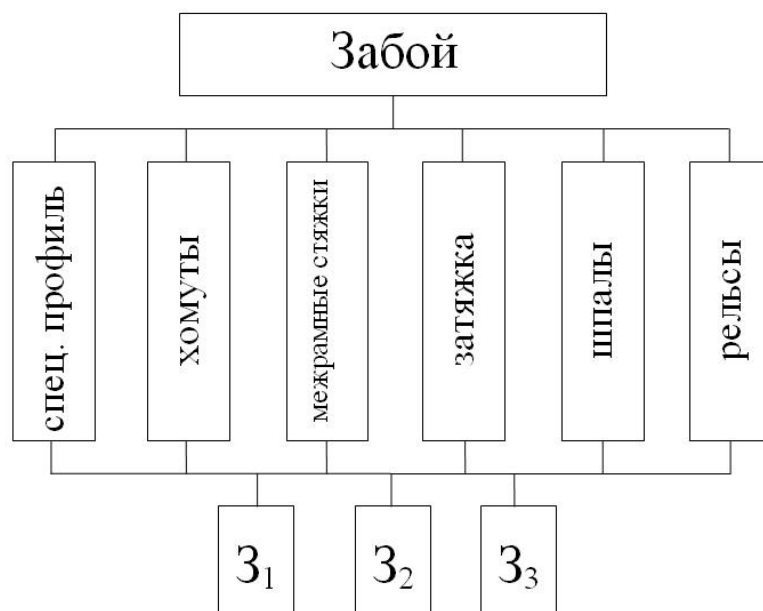


Рис. 2. Структурная модель принятия решений

Для этого необходимо выполнить декомпозицию поставленной задачи (рис. 2). Рассмотрим задачу прогнозирования экспертных преимуществ, связанных с содержанием оценок приоритетных альтернатив в форме зависимости от времени. Т.е. оценка преимуществ задается не константой, а функцией, зависимой от времени. Эти функции позволяют достаточно точно прогнозировать изменение преимуществ эксперта. В результате аппроксимации преимуществ эксперта получили следующую матрицу G попарных сравнений относительной важности шести альтернатив с учетом времени:

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 3+t & 2 \cdot t & 2 \cdot t & 2 \cdot t & 3+t \\ \frac{1}{3+t} & 1 & 2 \cdot t & \frac{1}{3+t} & \frac{1}{\ln \cdot 0.5 \cdot t} & \frac{1}{t^2 - 6 \cdot t} \\ \frac{1}{2 \cdot t} & \frac{1}{2 \cdot t} & 1 & \frac{1}{3+t} & \frac{1}{4} & \frac{1}{3+t} \\ \frac{1}{2 \cdot t} & 3+t & 3+t & 1 & \frac{1}{4} & 4 \\ \frac{1}{2 \cdot t} & \ln \cdot 0.5 \cdot t & 4 & 4 & 1 & 4 \\ \frac{1}{3+t} & t^2 - 6 \cdot t & 3+t & 3+t & \frac{1}{4} & 1 \end{pmatrix}$$

где G – горизонт угольной шахты; t – время (1 сутки, 2 суток, 3 суток)

Далее решение данной задачи выполняется по алгоритму, предложенному в [2], но с учетом времени:

1) выбор критериев для решения задачи оптимизации. Предлагаются следующие важные критерии для выбора варианта:

- M₁ – спец. профиль;
- M₂ – хомуты;
- M₃ – межрамные стяжки;
- M₄ – затяжка;
- M₅ – шпалы;
- M₆ – рельсы;

2) заполнение матрицы числовыми значениями относительной важности попарных сравнений выбранных критериев в соответствии со шкалой, предложенной Т. Саати (табл. 1):

Таблица 1

Матрица попарных сравнений относительной важности критериев
(второй уровень)

	M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	Нормализованный вектор приоритетов
M₁	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	0,3226
M₂	0,2500	-5,8257	2,0000	2,0000	0,5581	-0,2000	0,1118
M₃	0,5000	0,5000	-5,8257	0,2500	0,2500	0,2500	0,0590
M₄	0,5000	4,0000	4,0000	-5,8257	0,2500	0,2500	0,1599
M₅	0,5000	1,7918	4,0000	4,0000	-5,8257	4,0000	0,2671
M₆	0,2500	-5,0000	4,0000	4,0000	0,2500	-5,8257	0,0796
$\lambda_{\max} = 6,3211$				ИС = 0,27630			

3) решение матрицы попарных сравнений относительной важности попарных сравнений;

4) заполнение матрицы числовыми значениями сравнений относительной важности попарных сравнений выбранных альтернатив (табл. 2);

Таблица 2

Матрица попарных сравнений относительной важности альтернатив
(третий уровень)

Крите- рий	z_1	z_2	z_3	Норма- лизо- ванный вектор приори- тетов	Кри- терий	z_1	z_2	z_3	Норма- лизо- ванный вектор приори- тетов
z_1	1,0000	1,0000	1,0000	0,5876	z_1	1,0000	1,0000	1,0000	0,5498
z_2	0,2000	-3,3137	0,2500	0,0890	z_2	3,0000	-3,4857	0,5000	0,0821
z_3	0,5000	4,0000	-3,3137	0,3234	z_3	4,0000	2,0000	-3,4857	0,3681
$\lambda_{\max} = 3,0092$		$ИС = 0,0137$			$\lambda_{\max} = 2,1192$		$ИС = 0,0429$		
Крите- рий	z_1	z_2	z_3	Норма- лизо- ванный вектор приори- тетов	Кри- терий	z_1	z_2	z_3	Норма- лизо- ванный вектор приори- тетов
z_1	1,0000	1,0000	1,0000	0,8853	z_1	1,0000	1,0000	1,0000	0,7267
z_2	0,1111	-3,4616	0,1250	0,0284	z_2	3,0000	-3,4857	0,5000	0,0734
z_3	0,5000	8,0000	-3,4616	0,0863	z_3	4,0000	2,0000	-3,4857	0,1999
$\lambda_{\max} = 3,0649$		$ИС = 0,0324$			$\lambda_{\max} = 3,0092$		$ИС = 0,0046$		
Крите- рий	z_1	z_2	z_3	Норма- лизо- ванный вектор приори- тетов	Кри- терий	z_1	z_2	z_3	Норма- лизо- ванный вектор приори- тетов
z_1	1,0000	1,0000	1,0000	0,1597	z_1	1,0000	1,0000	1,0000	0,2426
z_2	0,1579	-2,2626	0,2000	0,0967	z_2	0,1429	-3,2323	0,2000	0,0880
z_3	0,3333	3,0000	-2,2626	0,7436	z_3	0,3333	5,0000	-3,2323	0,6694
$\lambda_{\max} = 2,1078$		$ИС = 0,0517$			$\lambda_{\max} = 3,0090$		$ИС = 0,0066$		

5) решение матрицы попарных сравнений относительной важности альтернатив;

6) вычисление глобальных приоритетов по результатам численных решений матриц относительной важности критериев и альтернатив (табл. 3).

Таблица 3

Результаты вычисления глобальных приоритетов

Альтер- нативы	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	Расчет глобальны приорите- тов	Предпочтение при выборе варианта
z_1	0,5876	0,5498	0,8853	0,7267	0,1597	0,2426	0,2304	2
z_2	0,0890	0,0821	0,0284	0,0734	0,0967	0,0880	0,1163	3
z_3	0,3234	0,3681	0,0863	0,1999	0,7436	0,6694	0,4161	1

Таким образом, оценка приоритетных альтернатив, заданная в форме зависимости от времени, показывает, что в первую очередь необходимо доставить материалы в забой Z_3 (ГП=0,4161), затем в забой Z_1 (ГП=0,2304) и только потом в Z_2 (ГП=0,1163) при $t=1$ сут (табл. 3).

Расчет приоритетных альтернатив при $t=2$ сут и $t=3$ сут существенно не изменяется (табл.4), а соответственно и маршрут доставки вспомогательных материалов и оборудования к забоям (Z_1, Z_2, Z_3) также не изменится.

Таблица 4

Сравнение расчета глобальных приоритетов альтернатив

$t=1$ сут		$t=2$ сут		$t=3$ сут	
Z_1	0,2304	Z_1	0,2890	Z_1	0,2948
Z_2	0,1163	Z_2	0,1453	Z_2	0,1350
Z_3	0,4161	Z_3	0,3776	Z_3	0,4128

Выводы. Эффективность работы шахты обычно оценивается по результатам ее деятельности за смену, сутки, месяц и т.д. Поэтому выбор методов управления шахтой должен быть оптимальным не только в смысле ожидаемых результатов, но и предусматривать дальнейшее развитие процесса, т.е. функционирование шахты. Только при соблюдении этого требования управление может считаться оптимальным.

Предложенный расширенный метод анализа иерархий позволит обеспечить разработку планов на основе взаимоувязанных технико-экономических расчетов, позволяющих выбрать из ряда возможных вариантов плана наилучший, то есть в наибольшей степени удовлетворяющий потребностям шахты. Он будет предусматривать рациональное и эффективное использование всех факторов и параметров производства, обеспечивать рентабельность за счет устранения излишних издержек и потерь в производстве. МАИ также включает в себя процедуры синтеза множественных суждений, получения приоритетности критериев и нахождения альтернативных решений.

Список литературы

1. Коровяка Е.А., Ширин Л.Н., Козина И.В. Экспертная оценка особенностей технологических схем разработки тонких жил с закладкой выработанного пространства //Науковий вісник НГУ України. – 2005. – № 3. – С. 33-35.
2. Козина И.В. Применение метода анализа иерархий для оперативной обработки матреиальных и информационных потоков в забоях угольных шахт //Системні технології /Регіональний міжвуз. зб. наук. пр. – 3(56):39, Дніпропетровськ, 2008. – С. 139-142

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Корсуном В.І.
Надійшла до редакції 16.04.09*

МЕТРОЛОГІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КАНАЛІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Рассмотрены вопросы создания метрологического и программного обеспечения измерительных каналов.

Розглянуто питання створення метрологічного та програмного забезпечення вимірювальних каналів.

The considered questions of the creation metrological and software measuring channel.

Актуальність проблеми та постановка завдання. Характерною ознакою сучасного стану розвитку підприємств є вирішення завдань підвищення техніко-економічних показників виробництва за рахунок впровадження засобів автоматизації. Вимірювання параметрів об'єктів виробництва є необхідним фундаментом побудови автоматизованих систем управління технологічними процесами. Відомо [1], що наприкінці ХХ ст. частка вимірюваних динамічних параметрів складала 60-70% від загального об'єму вимірювань на підприємствах. Зараз частка динамічних вимірювань досягає 90%. Це вказує на необхідність усунення диспетчерів від прийняття оперативних рішень щодо управління технологічними процесами або по скороченню навантаження на диспетчера. Такий висновок пов'язаний із неможливістю людини справлятися з великою кількістю інформації, яка має швидку динаміку. Згідно зі статистикою частка людського фактору, як причини аварій досягає 80%.

Перспективним шляхом запобігання аварій, викликаних людським фактором, є автоматизація вимірювань динамічних параметрів технологічних процесів. Для технічної реалізації задач автоматизації вимірювань використовуються інформаційно-вимірювальні системи (ІВС). До складу сучасних ІВС звичайно входять: первинні перетворювачі (сенсори), масштабні перетворювачі, лінії зв'язку (канали передачі даних), вторинні перетворювачі, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), мікропроцесори або ЕОМ, вторинні прилади. Згідно Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність» [2] ІВС відносяться до засобів вимірювальної техніки, для яких обов'язково повинні нормуватися метрологічні характеристики.

Слід відзначити, що ІВС представляють собою специфічний різновид засобів вимірювань, насамперед тому, що неможливо розрахувати метрологічні характеристики (наприклад, значення похибок) для ІВС у цілому. Для нормування метрологічних характеристик ІВС їх поділяють на функціональні частини - вимірювальні канали (ВК). На сучасному етапі розвитку промисловості вимірювальні системи зазвичай не випускаються комплектно, як закінчений виріб, а розробляються, проектуються та впроваджуються на виробництві як одиничний екземпляр з урахуванням певних особливостей технологічного об'єкту або процесу, параметри якого підлягають вимірюванням. Тому розрахунок та до-

слідження метрологічних характеристик ВК ІВС представляє собою актуальну задачу.

Метою статті є аналіз особливостей процесу розробки метрологічного та програмного забезпечення каналів ІВС.

Основна частина. З точки зору практичного застосування ІВС обов'язковій оцінці підлягають параметри градуйованих характеристик та значення похибки вимірювань.

1. Розрахунок градуйованих характеристик ВК. До складу ВК входить певна кількість компонентів – технічних пристроїв. Наприклад: первинний вимірювальний перетворювач, масштабний перетворювач (інша назва - перетворювач, який нормує), проміжний перетворювач, аналого-цифровий перетворювач, інформаційний пристрій (вторинний прилад або його програмна реалізація у вигляді відповідного вікна на екрані ЕОМ). Кожен компонент ВК має номінальну статичну характеристику перетворення, яка відповідає діапазону вимірюваної величини або параметра (аналогового чи цифрового), за допомогою якого відбувається подальше перетворення, передача, представлення вимірюваної величини.

Як правило, при розрахунку градуйованих характеристик ВК ІВС приймається, що градуйовані характеристики його компонентів лінійні чи близькі до лінійних. Цей висновок ґрунтується на відомостях, узгоджених із державними стандартами, які висувають вимоги до розрахунку метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки [3]. Якщо прийнято припущення про лінійність градуйованих характеристик компонентів ІВК, то вони можуть бути описані лінійним рівнянням виду:

$$y_i = a_i + b_i \cdot x, \quad i = \overline{1, N}, \quad (1)$$

де x - вхідний сигнал i -го перетворювача чи приладу; y - вихідний сигнал відповідного компонента ВК; a_i - адитивна складова; b_i - мультиплікативна складова номінального перетворення вимірювального сигналу.

Кожен компонент ІВК має певний діапазон вхідних та вихідних сигналів, яким відповідають верхня та нижня межі градуйованої характеристики. Виходячи з технічних властивостей конкретного приладу чи перетворювача його градуйована характеристика може починатися з нуля, або бути «утопленою», тобто починатися зі значення, відмінного від нуля.

При проектуванні ІВС спеціаліст повинен пам'ятати, що сигнали вимірювальних перетворювачів, як правило, є уніфікованими. Згідно з державними стандартами в Україні рекомендуються уніфіковані токові (0..5; 0..20; 4..20 мА) або пневматичні (0,02..0,1 МПа) сигнали.

Як було зазначено вище, останнім компонентом ВК слугує інформаційний пристрій, шкалу якого для зручності спостерігача повинно бути відградуйовано в одиницях вимірюваної за допомогою первинного перетворювача фізичної величини. Тобто, градуйована характеристика останнього компонента ВК повинна враховувати всі перетворення інформаційного сигналу, що відбуваються з ним у вимірюваному тракті. Оскільки для інформаційного пристрою (вторин-

ного приладу) теж приймається припущення про лінійність його характеристики, то справедливо співвідношення:

$$y_{BK} = a_{BK} + b_{BK}x, \quad (2)$$

де a_{BK} - адитивна складова; b_{BK} - мультиплікативна складова номінального перетворення каналу в цілому, що розраховуються за формулами:

$$a_{BK} = \sum_{i=1}^N \left[\prod_{j=i+1}^N b_j \cdot x_{Hi} \right] \cdot a_i, \quad (3)$$

$$b_{BK} = \prod_{i=1}^N b_i. \quad (4)$$

Сучасні ІВС містять від десятків до тисяч вимірювальних каналів, для кожного з яких визначаються градуйовані характеристики, які обов'язково повинні розраховуватись при проектуванні та налагодженні ІВС. Окрім того, будь-які зміни в технологічних об'єктах та процесах викликають необхідність переналагодження або перекомпановки вимірювального обладнання, що, у свою чергу тягне за собою необхідність перерахунку градуйованих характеристик.

Тому, для автоматизації обчислень указаних характеристик, авторами статті було розроблене спеціалізоване програмне забезпечення у вигляді прикладної програми (зовнішній вид вікна зображено на рис. 1).

Рис. 1. Зовнішній вид вікна прикладної програми для розрахунку градуйованих характеристик ВК

2. *Розрахунок похибок ВК ІВС.* Якщо розрахунок градуйованих характеристик ВК фактично є суто технічною процедурою, то визначення похибки ВК представляє собою не тільки практичний, але й науковий інтерес, оскільки повинен базуватися на теоретико-ймовірнісних моделях вимірювань.

Взагалі під похибкою вимірювань розуміється відхилення експериментального результату вимірювань від дійсного (істинного) значення фізичної величини. На стадії проектування ІВС єдиним методом оцінки похибки ВК є її розрахунок, що ґрунтується на впливі окремих його ланок (компонентів ВК) на остаточну похибку вимірювання певної фізичної величини. При цьому необхідно чітко розуміти яку саме задачу ставить перед собою дослідник, що займається розробкою структури ІВС.

Найпростішим методом пошуку кількісної оцінки похибки ВК за похибками його ланок є розрахунок сумарної похибки ВК на основі даних про класи точності використаних компонентів. Як правило, для засобів вимірювань (під якими розуміються не тільки прилади, але й перетворювачі) нормується основна приведена похибка вимірювань, яка називається класом точності. Зверніть увагу, що клас точності приладу вказує максимальну можливу похибку вимірювань (на відміну від найбільш імовірної похибки).

Найпростішим методом розрахунку сумарної похибки є сумування похибок однакового походження. Але у випадку, коли до складу суми входить велика кількість компонентів (на практиці – більше двох), така формула дає значно завищене значення сумарної похибки, оскільки характеризує, що при використанні всіх приладів одночасно виникне найгірший випадок – усі їхні похибки будуть дорівнювати своїм максимальним значенням. Чим більше компонентів входить до такої суми, тим більш завищеною буде така оцінка. Тому на практиці при кількості складових більше двох користуються поняттям не максимально можливої, а найбільш імовірної похибки, що оцінюється за допомогою засобів теорії ймовірності та математичної статистики.

Для коректного використання залежностей, які характеризують величини, що мають імовірнісний характер, необхідно враховувати наступні положення:

1. Математичне очікування (якому відповідає систематична похибка вимірювань) сумарної похибки вимірювань фізичної величини в певному каналі визначається як алгебраїчна сума математичних очікувань для компонентів ВК.

2. Дисперсія сумарної похибки ВК за наявності кореляції між ланками каналу повинна оцінюватися за формулою:

$$\sigma_{\Sigma}^2 = \sum_{i=1}^N \sigma_i^2 + 2 \sum_{i < j} r_{ij} \sigma_i \sigma_j, \quad (5)$$

де σ_{Σ}^2 - дисперсія результуючої похибки; σ_i^2 - дисперсія і-ї складової похибки ВК; r_{ij} - коефіцієнт кореляції між і-ю та j-ю складовими. При відсутності кореляції між складовими другий доданок у формулі (5) приймають рівним нулю.

Виробники засобів вимірювальної техніки нажаль часто користуються наближеними формулами для розрахунку похибок ВК та не вказують існуючі обмеження для їх практичного застосування. Значна частина відомих методик розрахунку сумарних похибок орієнтовано на прийняття гіпотези про нормальний закон розподілу випадкових величин, у якості яких виступають вимірювані фізичні величини або похибки вимірювань, але реальні фізичні процеси та похибки вимірювань можуть мати й інші закони розподілу, наприклад, рівномір-

ний або трикутний. Таким чином, першим етапом оцінки похибки ВК повинна бути ідентифікація форми закону розподілу похибок вимірювань. Для програмної реалізації цього етапу може бути застосований наближений метод ідентифікації форми розподілу похибок, запропонований у праці [4].

Якщо встановлено, що похибки компонентів ВК мають різні закони розподілу, то для отримання оцінки сумарної похибки ВК необхідно обчислення суми випадкових величин, сумісна дія яких може бути охарактеризована багатовимірним законом розподілу. Однак математичні операції з такими законами є складними, навіть при використанні ЕОМ.

У цьому випадку можна скористатися центральною граничною теоремою, на основі застосування якої може бути встановлено, що щільність функції розподілу суми більше ніж чотирьох незалежних випадкових величин із будь-якими законами розподілу наближається до нормальної щільності. Однак остаточний висновок про наближення до нормального закону потребує визначення таких параметрів як ентропійний коефіцієнт композиції та ексцес сумарного розподілу.

Якщо приймається гіпотеза про нормальний закон розподілу випадкових похибок вимірювань, то абсолютне значення межі основної приведенної похибки Δy компоненту ВК або ВК в цілому може бути оцінено через значення середньо квадратичного відхилення σ наступним чином:

$$\Delta y = \frac{\sigma \cdot t_p}{\sqrt{k}}, \quad (6)$$

де t_p - таблична величина, яка позначає квантіль розподілу Стюдента при двосторонній довірчій імовірності p та числі ступенів свободи $f = n - 1$; n - кількість вимірювань фізичної величини; k - кількість рівнобіжних визначень вимірюваної величини.

За найбільш достовірну оцінку значення випадкової величини (у даному розрахунку – значення похибки i -го компоненту ВК) приймається математичне очікування, яке у свою чергу, містить адитивну та мультиплікативну складові:

$$M[\Delta(x_i)] = ad_i + m_i \cdot x, \quad (7)$$

де x – вхідний сигнал i -го компонента ВК;

$ad_i = \delta_i \cdot y_{H,i-1}$ - адитивна складова;

$m_i = b_i \cdot \delta_i$ - мультиплікативна складова;

$\delta_i = \frac{\Delta y_{is}}{y_{ki} - y_{Hi}}$ - відносна похибка систематичної складової, нормована до діапазо-

ну вимірювань (перетворень) компонента ВК; під $\Delta(x_i)$ розуміється межа припустимого значення складової похибки.

Аналогічно представимо середнє квадратичне відхилення як суму адитивної та мультиплікативної складових, враховуючи, що воно дорівнює кореню з дисперсії, яка має розмірність квадрата вимірюваної величини:

$$\sigma[\Delta(x_i)] = \sqrt{g_i^2 + G_i^2 \cdot x_i^2}, \quad (8)$$

де g_i^2 - дисперсія адитивної складової; G_i^2 - дисперсія мультиплікативної складової.

Узагальнюючи наведені вище залежності для ВК у цілому, отримаємо оцінку основної похибки ВК через значення математичного очікування

$$M_{BK}[\Delta(x)] = ad_{BK} + m_{BK} \cdot x \quad (9)$$

та кореня з дисперсії

$$\sigma_{BK}[\Delta(x)] = \sqrt{\sum_{i=1}^N g_i^2 + \frac{m_{BK}^2}{Q_{BK}^2} \cdot x^2}, \quad (10)$$

$$\text{де } ad_{BK} = \sum_{i=1}^N m_i(ad_i + a_i) - \sum_{i=1}^N b_i \cdot a_i; \quad m_{BK} = \prod_{z=i+1}^N (m_z + b_z), \quad Q_{BK} = \prod_{z=i+1}^N [(m_z + b_z)^2 + G_z^2].$$

За зазначеною вище методикою можна розрахувати похибку ВК, який складається з аналогових компонентів. Оскільки сучасні ІВС ґрунтуються на цифровій обробці вимірювальних сигналів, слід звернути увагу на необхідність додаткового обчислення похибки квантування, яка виникає під час аналого-цифрового перетворення інформаційних сигналів. Імовірність похибки квантування становить:

$$p(x) = \begin{cases} 1, & -0,5 \leq x \leq 0,5; \\ 0, & \text{в інших випадках} \end{cases} \quad (11)$$

Математичне очікування похибки квантування величини x : $M_x = 0$. Дисперсія похибки квантування:

$$\sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - M_x)^2 p(x) dx = \int_{-0,5}^{0,5} x^2 dx = \frac{1}{12}. \quad (12)$$

Таким чином, середнє квадратичне відхилення складає

$$\sigma_x = \sqrt{1/12} \approx 0,29.$$

Окрім того, значення похибки аналого-цифрового перетворення залежить від раціонального узгодження можливого діапазону значень вимірюваної величини й вхідного діапазону АЦП. Наприклад, для 12-ти розрядного АЦП кількість різних значень вихідного сигналу становить $r = 2^{12} = 4096$. Якщо АЦП має діапазон вимірювань 0..5 В, то він зможе розрізнити два рівня вхідної напруги, які відрізняються на величину

$$\Theta = (U_{\max} - U_{\min}) / r = 0,001221 \text{ В}.$$

Обчислюючи відносні похибки для початку (наприклад, $U_1 = 50$ мВ) та для кінця (наприклад, $U_2 = 4,5$ В) шкали отримаємо:

$$\delta_1 = \frac{\Theta}{U_1} 100\% = 2,441\% \text{ та } \delta_2 = \frac{\Theta}{U_2} 100\% = 0,027\%.$$

Порівнюючи результати можна прийти до висновку, що похибка на початку шкали є значно більшою, і її значення може не відповідати вимогам, які висуваються при проектуванні вимірювальної апаратури.

Для автоматизації обчислень похибок ВК для ІВС із великою кількістю каналів та компонентів авторами статті було розроблено прикладне програмне забезпечення, яке дозволяє розраховувати похибки компонентів ВК та виконувати остаточний розрахунок основної похибки ВК у цілому. Зовнішній вид інтерфейсу користувача програми показаний на рис. 2.

Рис. 2. Зовнішній вид вікна прикладної програми для розрахунку похибок ВК

При необхідності обчислення *непевності вимірювань* каналу насамперед визначаються компоненти стандартної непевності категорії В, які являють собою оцінку середнього квадратичного відхилення $u_{BK}(x) = \sigma_{BK}(x)$ з дисперсією $\sigma^2[\Delta(x)]$. Для того, щоб перейти від стандартної непевності до встановлення меж інтервалу (розширеної непевності) необхідно використати припущення про розподіл імовірностей випадкової величини в інтервалі, наприклад, рівномірне, трикутне, нормальне. Тоді розширену непевність отримаємо шляхом множення стандартної непевності на фактор покриття К.

Для вибору кількісного значення фактора покриття необхідно знати вид розподілу та рекомендовану ймовірність Р. Якщо ідентифікацію форми закону розподілу випадкових величини провести неможливо, то користуються так званим правилом оцінки «зверху». При цьому необхідно розуміти, що оцінка «зверху» відповідає найгіршому випадку, тоді приймають значення фактору покриття $K=2$ при $P=0,95$; $K=3$ при $P=0,99$.

Висновки. 1. До особливостей розрахунку похибки вимірювань каналу ІВС відносяться: необхідність ідентифікації форми закону розподілу похибок окремих компонентів та ВК в цілому; розрахунок математичного очікування і дисперсії у вигляді суми адитивної та мультиплікативної складових; оцінка похибки аналого-цифрового перетворення інформаційного сигналу.

2. Авторами статті для автоматизації виконання обчислень параметрів градуїзованих характеристик та похибок ВК розроблено спеціалізоване програмне забезпечення.

Список літератури

1. Измерительно-вычислительные средства автоматизации производственных процессов /Чернявский Е.А. и др. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 272 с.
2. Закон України “Про внесення змін до Закону України “Про метрологію та метрологічну діяльність” від 15 червня 2004 р. за №1765-IV.
3. Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем по метрологическим характеристикам компонентов. МИ222-80. – М.: Изд-во стандартов, 1980.
4. Новицкий П.В., Зograф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.
Надійшла до редакції 24.04.09*

УДК 622.24.05.051.55

© О.М. Терентьев

ЗНИЖЕННЯ ПИТОМОЇ ЕНЕРГОЄМНОСТІ БУРІННЯ ГРАНІТІВ ШАРОШКОВИМИ БУРОВИМИ СТАНКАМИ

Рассмотрены вопросы снижения энергоемкости бурения горных пород за счет минимизации энергозатрат на формирование ядра уплотнения забоя, путем оптимизации геометрии режущих вставок трехшарошечного долота П244,5Т-ЦВ станка СБШ- 250 МНА-32. Для оценки эффективности размещения режущих вставок под углом проведен сравнительный расчет действия на забой долота без учета наклона вставок и с их размещением под углом. Поддержание рабочей скорости бурения скважин в породных массивах крепостью до 14 едениц по шкале профессора М. М. Протоджяконова 4,27 м/ч позволяет обеспечить производительность 0,21 м³/ч, при уменьшении энергозатрат на бурение от 189,16 кВт·ч/м³ до 151,37 кВт·ч/м³. При этом годовое энергосбережение составляет 247300 кВт·год, что при стоимости 52,31 копейки за один кВт/ч, позволяет получить годовой экономический эффект 119692,55 гривен.

Розглянуті питання зниження енергоємності буріння гірських порід за рахунок мінімізації енергетичних витрат на формування ядра ущільнення вибою, шляхом оптимізації геометрії ріжучих вставок трьохшарошкового долота П244,5Т-ЦВ станка СБШ- 250 МНА-32. Для оцінки ефективності розташування ріжучих вставок під кутом проведено порівняльний розрахунок дії на вибій долота без урахування нахилу ріжучих вставок та з їх розташуванням під кутом. Підтримання робочої швидкості буріння свердловин у породних масивах міцністю до 14 одиниць за шкалою професора М.М. Протод'яконова 4,27 м/год дозволяє забезпечити продуктивність 0,21 м³/год, при зменшенні енерговитрат на буріння від 189,16, кВт·год/м³ до 151,37 кВт·год/м³. При цьому річна енергоощадність складає 247300 кВт·рік, що при вартості 52,31 копійки за одну кіловат/годину, дозволяє отримати річний економічний ефект 119692.55 гривень.

The problems of reducing specifict energy of drilling rocks by minimizing the energy to form the nucleus seal slaughter, by optimizing the geometry of cutting inserts roller bit П244, 5Т-

ЦВ-250 machine СБШ-250 МНА-32. To evaluate the effectiveness of the deployment of cutting inserts at an angle of a comparative calculation of action at the bottom bit without taking into account the slope of boxes and placing them at an angle. Maintain a working speed of drilling wells in the rock mass strength to 14 pieces on the scale of Professor M. M. Protodyakonova 4.27 m / h to ensure the productivity of 0.21 m³ / h, while reducing energy costs for the drilling of 189.16 kW · h/m³ to 151.37 kW · h/m³. This annual energy conversation of 247300 kW · year, at a cost of 52.31 kopecks per one kilowatt / hour, gives the annual the economic effect 119692.55 Uah.

Вступ, постановка проблеми та її зв'язок із важливими науковими завданнями. Критичний аналіз теорій як статичного, так і динамічного руйнування порід при видобутку корисних копалин [1-3] показав, що у відомих теоріях руйнування не враховується функціональний зв'язок між такими важливими елементами гірничої системи, як породний масив, робочий орган і привід машини. Наявність вказаних недоліків приводить до зменшення продуктивності та підвищенню питомої енергоємності цього процесу.

На підставі аналізу Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки» від 16 січня 2003 року, № 433-IV обрана наукова проблема, на рішення якої спрямована дана робота. Згідно державної цільової науково-технічної програми «Наука в університетах» на 2008-2012 роки, затвердженої Наказом Міністерства освіти і науки України від 23.03.2009 року № 265, однією з проблем, що увійшла до напрямку 1 «Енергоефективність» є «Високоєфективне використання енергетичного потенціалу геотехнічних систем України: ресурси, енергозберігаючі технології, екобезпека».

Аналіз досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається ця робота. Питання зниження енергоємності буріння гірських порід цікавили провідних фахівцями таких як Л.І. Барон, Р.М. Ейгелес, А.П. Кічигін, Н.Н. Павлова, В.В. Царицин, О. Шрейнер. В цьому напрямку працюють великі школи представлені колективами вчених АН України ІГТМ ім. М.С. Полякова, НДІТБ, вузівських колективів ІФДТУНГ, Донецького ДУ, Дніпропетровського НГУ, Криворізького ТУ, російські вчені ІГС ім. О.О. Скочинського, ІГС СВ АН Росії, вченні США, Великобританії, Франції тощо.

В роботі [4] аналізувався вплив геометрії різця на утворення ядра ущільнення в процесі різання гірських порід. Дослідженнями встановлено, що ядро ущільнення не утворюється при клиновій формі передньої границі, яка має кут загострення менший за 60°, при глибині занурення менше за 3 см. Суттєвий вплив на утворення ядра ущільнення створює кут різання. Якісні і кількісні показники процесу руйнування з урахуванням формування ядра ущільнення на різучому інструменті наведені в роботі [5]. Кількісний вплив кута різання на величину ядра ущільнення і зусилля подачі автори ураховують експериментальним коефіцієнтом.

Буріння одного погонного метра коштує державі понад чотири долари. У вартість буріння враховують й кількість використовуваних інструментів. Наприклад Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат бурить на місяць 30 тисяч метрів кубічних при змінній проходці на одне долото 170 метрів [6].

Виділення невирішених частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Встановлено [7], що (90...95) % загальної енергоєм-

ності сколювання породного масиву йде на занурення робочого органа й формування ядра ущільнення. На сьогодні ще нема конкретних практичних рекомендацій щодо головних чинників, які забезпечують зниження питомої енергоємності буріння свердловин за рахунок зниження енергії приводу системи, яка непродуктивно витрачається на формування ядра ущільнення.

В зв'язку з викладеним створення та впровадження інноваційних технологій видобутку корисних копалин і високопродуктивної техніки з енергоощадним руйнуванням гірських порід за рахунок мінімізації енергетичних витрат на формування ядра ущільнення є актуальною науковою проблемою.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є зниження питомої енергоємності руйнування вибою з коефіцієнтом міцності до 14 за шкалою Протод'яконова М.М при бурінні гірських порід трьохшаровим долотом ІІІ244,5Т-ЦВ верстата СБШ- 250 МНА-32.

Для досягнення поставленої мети сформульовані наступні завдання: аналіз існуючих методів збільшення ефективності руйнування породного масиву; розробка математичної моделі руйнування вибою, особливістю якої є урахування геометричних параметрів ядра ущільнення породного масиву; обґрунтування геометрії та розміщення ріжучих вставок що забезпечує мінімум енерговитрат на руйнування вибою.

Математична модель руйнування вибою. У результаті виникнення мікротріщин розриву і мікросколювання елементів при руйнуванні породного масиву утворюється ядро ущільнення. Ядро ущільнення з достатнім ступенем точності апроксимується замкнутою центральною поверхнею другого порядку, типу еліптичного параболоїда. Це дозволяє визначити його геометричні форми і параметри.

На підставі моделі навантаження пружно-пластичного масиву [1; 2; 8; 9] для розриву контуру у вершині ядра необхідний тиск, Па:

$$P_0 = P_k \cdot e^{-f \cdot h_y},$$

де P_k - контактна міцність породного масиву, Па; $f=10/h_b$ – коефіцієнт згасання тиску під інструментом при збільшенні глибини занурення інструменту у породний масив, 1/м [2]; h_b - глибина занурення інструмента у породний масив, м; h_y - висота ядра ущільнення вибою перед інструментом, м.

Вирішуючи наведене рівняння відносно h_y і розкриваючи його складові, одержимо [8]:

$$h_y = \frac{\sqrt{N_p^2 + N_{\pi}^2} \cdot \ln(P_k/P_0)}{10 \cdot \sqrt{2} \cdot a_k \cdot y_0 \cdot z_p \cdot N_i \cdot \sqrt{V_p^2 + V_{\pi}^2}} = \frac{\sqrt{N_p^2 + N_{\pi}^2} \cdot \ln \left[P_k \cdot p \cdot (1 - n^2) / (2 \cdot \sqrt{2} \cdot y_p \cdot E) \right]}{10 \cdot \sqrt{2} \cdot a_k \cdot y_0 \cdot z_p \cdot N_i \cdot \sqrt{V_p^2 + V_{\pi}^2}},$$

де ν - коефіцієнт Пуассона, в.о; σ_p - межа міцності породного масиву на розрив, Па; E - модуль пружності масиву першого роду, Па;

Урахуємо, що $y_p = (0.25 \dots 0.35) y_0 = 0.3 \cdot y_0$; $\phi = (0.1 \dots 0.6) \cdot y_0 = 0.5 \cdot y_0$;
 $E = (120 \dots 160) \cdot y_0 = 150 \cdot y_0$; $y_0 = 63 \cdot P_k^{0.6}$ [3; 4], тоді:

$$h_{я} = \frac{\sqrt{N_{\Pi}^2 + N_p^2} \cdot \ln \left[(0.015873 \cdot y_0)^{1.67} \cdot p \cdot (1 - n^2) \right] / (18.9737 \cdot y_0)}{14.1 \cdot a_k \cdot y_0 \cdot 3 \cdot N_i \cdot \sqrt{V_{\Pi}^2 + V_p^2}}.$$

Згідно використаній розрахунковій схемі, рис. 1, при утворенні елементарної стружки характерна точка С – фокусна відстань для кривої, що лежить у площині XOY проектується в точку вершини ядра ущільнення, що лежить у площині XOZ і дорівнює $h_{я}$.

Вивчення розподілу поля напруг у зоні руйнування дозволило встановити залежність геометрії елементарного об'єму руйнування від співвідношення параметрів a і $h_{я}$. Так, при $a = 0.8 h_{я}$ - моделюються всі кулясті стружки, при $a = 0.9 h_{я}$ - еліпсоподібні, при $a = h_{я}$ - каплеподібні стружки, $a = 1.1 h_{я}$ - дозволяє охопити форми, що найчастіше зустрічаються при руйнуванні, які відповідають фігурі Кассині, $a = \sqrt{2} \cdot h_{я}$ - відображає призматичну форму стружок, при $a = \sqrt{3} \cdot h_{я}$ - моделюються параболічні стружки.

Експериментальні і теоретичні дослідження, проведені автором, дозволили уточнити метод розрахунку параметрів стружкоутворення у процесі руйнування гірських порід.

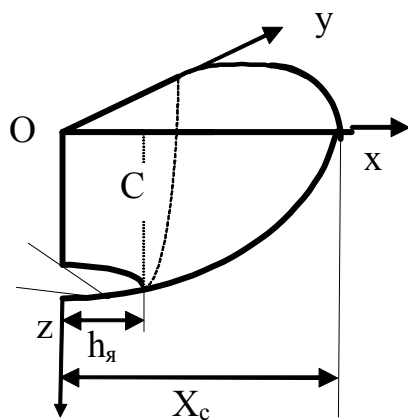


Рис.1. Розрахункова схема визначення параметрів елемента відділення (стружки) і ядра ущільнення

В основу розрахунку покладене те, що елемент відділення (стружка) обмежений з боку відкритої поверхні лінією Кассині:

$$(x^2 + y^2 + z^2)^2 - 2c^2(x^2 - y^2 - z^2) = a^4 - c^4 - b^4.$$

Елементарний об'єм руйнування одним інструментом отримано після переведення, вказаного рівняння, у циліндричну систему координат і інтегрування в обраних межах: по глибині руйнування Z : від 0 до $\sqrt{a^4 - h_{я}^4} / b$; по куту ϕ : від 0 до $\pi/2$.

$$V_c = 2 \cdot \int_0^{\pi/2} \int_0^{\sqrt{a^4 + h_{я}^2} / b} (h_{я}^2 \cdot \cos 2\phi + \sqrt{a^4 - h_{я}^4 \sin^2 2\phi - b^2 \cdot z^2}) dz \cdot d\phi.$$

Схема враження вибою долотом П244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32. Міцність породного масиву, що обробляється 8-14 за шкалою професора Протод'яконова, глибина буріння $h = 32$, м. Розташування твердосплавних

вставок бурового долота П244,5Т-ЦВ прийнято за [10; 11]. Кожен контур масиву, що обробляється розділено за вінцями ріжучих вставок долота, рис. 2.

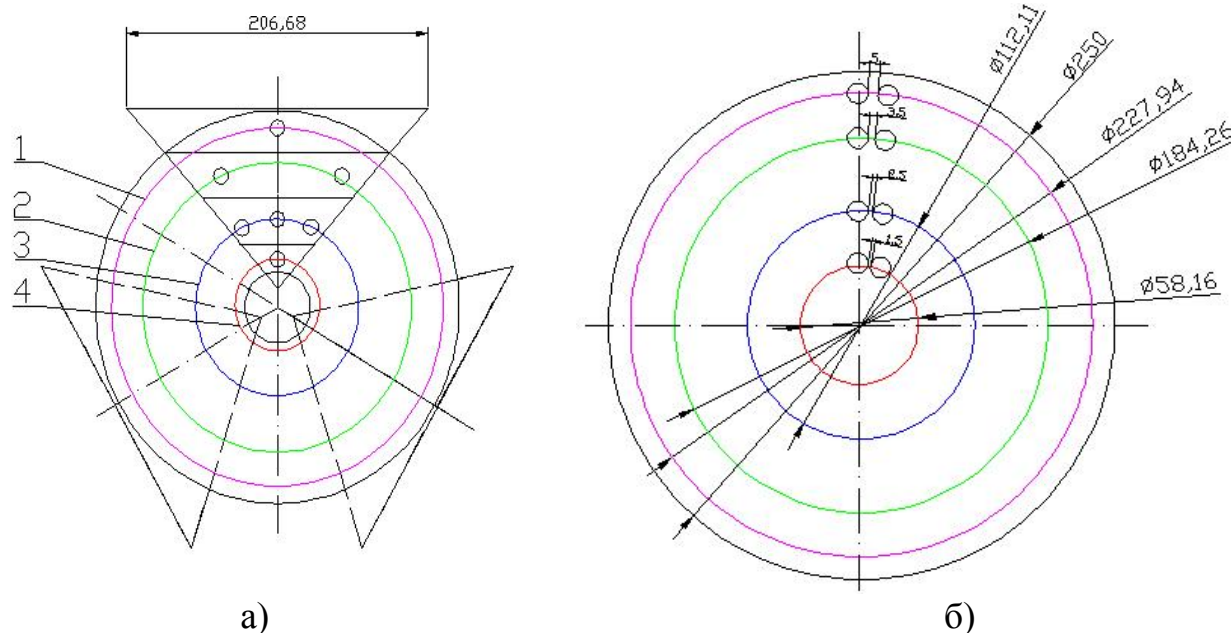


Рис. 2. Розміщення вінців ріжучих вставок а): 1- перший вінець; 2- другий вінець; 3- третій вінець; 4- четвертий вінець; б) - розташування ріжучих вставок на вінцях шарошкового долота П244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32

Відповідно до рисунку 2 діаметр долота - 244,5 мм, діаметри першого вінця і кола дорівнює: $D_1=228$, мм. Периметр кола дорівнює $P_1 = \pi \cdot D_1 = \pi \cdot 228 = 716$, мм. Кількість вставок що розташовані на вінці з певним кроком t_i , складає відповідно: $t_1=a=5$, $t_2=0,7a=3,5$, $t_3=0,5a=2,8$, $t_4=0,3a=1,5$, де $a=5$ мм, i -номер вінця.

Кількість вставок на першому вінці:

$$Z_1 = P_1 / (H_{\text{вст}} + t_1) = 716 / (10 + 5) = 48 \text{ шт.},$$

де $H_{\text{вст}} = 10$ – висота робочої поверхні вставки, мм.

Ріжучі вставки розташовані за принципом контурного руйнування масиву [10] під кутом, так щоб зовнішні вінці (перші і другі, що діють на кільця відповідно нумерації рисунку 2 були напрямленні від центру буріння долота і руйнували зовнішній контур, а вінці що відповідають колам 3 і 4 рисунка 2 були напрямленні до центру буріння долота і руйнували внутрішній контур. Схема враження вибою з розташуванням вставок під кутом показана на рисунку 3. А розрахунок схеми враження вибою ріжучими вставками шарошкового долота П244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32 занесено у таблицю 1

Для оцінки ефективності дії даної методики розташування вставок під кутом проведено порівняльний розрахунок дії на вибій долота без врахування нахилу вставок, та з розташуванням вставок під кутом.

Об'єм ядра ущільнення, що утворився без врахування кута встановлення вставок з використанням раніше наведеного виразу становить: $V_c = h_{\text{я}}^3 \cdot 1,46$.

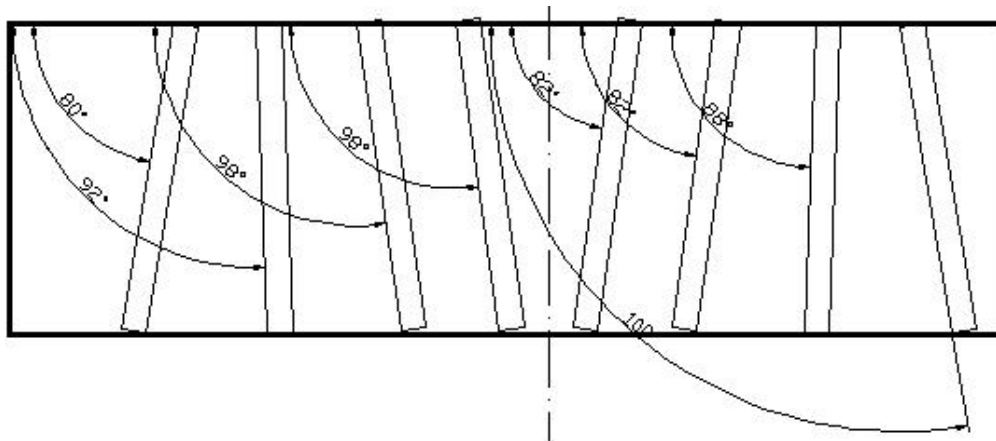


Рис.3. Схема враження вибою та кути розміщення ріжучих вставок долота

Таблиця 1

Розрахунок схеми враження вибою ріжучими вставками шарошкового долота ІІІ244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32

Параметр долота	Номер вінця шарошки			
	1	2	3	4
Діаметр вінця D_i , мм	228	184	112	58
Периметр вінця P_i , мм	716	578	352	182
Крок вставок t_i , мм	5	3,5	2,5	1,5
Висота ріжучої вставки, h , мм	10	10	10	10
Кількість вставок на вінці, z_i , шт.	48	17	14	12
Кут розташування вставки на вінці α_i , °	80	92	98	98

Сумарна висота ядра на всіх ріжучих вставках шарошкового долота ІІІ244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32

$$h_{\text{я}} = h \cdot m \cdot \sum_{i=1}^4 t_i \cdot z_i = 0.01 \cdot 4 \cdot (0.005 \cdot 48 + 0.0035 \cdot 17 + 0.0025 \cdot 14 + 0.0015 \cdot 12) = 0.0141, \text{ м},$$

де h - висота вставки, мм; m —число вінців шарошки, шт; t_i - крок встановлення вставок на i -му вінці, мм; z_i -кількість вставок на i -му вінці, шт.

Сумарний об'єм руйнування породного масиву шарошковим долотом ІІІ244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32:

$$V = V_{\text{с}} \cdot n = h_{\text{я}}^3 \cdot 1,46 \cdot n = 0,0141^3 \cdot 1,46 \cdot 3 = 0.000012271, \text{ м}^3,$$

де n -кількість шарошок в долоті.

Розрахунок технологічних параметрів буріння. Основними параметрами для руйнування породного масиву є продуктивність та питома енергоємність буріння.

Розрахункова площа буріння шарошкового долота ІІІ244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32: $S_p = 0,25 \cdot \pi \cdot d^2 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,245^2 = 0,047 \text{ м}^2$

де d - діаметр долота, м [10].

Теоретична продуктивність бурового верстата СБШ-250 МНА-32 [13]:

$$\Pi = S_p \cdot x_c = 0.047 \cdot 60 = 2.82, \text{ м}^3/\text{год},$$

де v_c - швидкість буріння верстата, м/год [11].

Об'єм свердловини при максимально нарощеній штанзі

$$V_{\text{обр}} = S_p \cdot h = 0.047 \cdot 32 = 1.502, \text{ м}^3,$$

де $h = 32$ - максимальна глибина буріння СБШ-250МНА-32, при нарощенні штанг, м.

Час буріння максимального об'єму породного масиву:

$$T_{\text{обр}} = \Pi / V_{\text{обр}} = 2.82 / 1.502 = 1.88 \text{ години}$$

Питомі енерговитрати на буріння:

$$q_1 = \frac{N \cdot T_{\text{обр}}}{\left(V_{\text{обр}} - V \cdot n_s \cdot k_{\text{ан}} \right)} = \frac{406 \cdot 1.88}{(1.502 - 0.000012271 \cdot 122438 \cdot 0.8)} = 2540,1 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$$

де N – сумарна потужність верстата, що використовується для буріння, кВт [11]; $n_s = V_{\text{обр}} / V = 1.502 / 0.000012271 = 122438$ - кількість стружок що утворюються в об'ємі $V_{\text{обр}}$, шт; $k_{\text{ан}} = 0,8$, - коефіцієнт, що враховує витрати енергії на формування ядра ущільнення.

Сумарна висота ядра всіх ріжучих вставок шарошкового долота П244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32 при кутах нахилу вставок у вінцях у відповідності до схеми враження вибою, рисунок 3:

$$h_{\text{я}} = h \cdot m \cdot \sum_{i=4} t_i \cdot z_i \cdot \cos \alpha_i = 0.01 \cdot 4 \cdot (0.005 \cdot 48 \cdot \cos 80 + 0.0035 \cdot 17 \cdot \cos 92 + 0.0025 \cdot 14 \cdot \cos 98 + 0.0015 \cdot 12 \cdot \cos 98) = 0.001288915, \text{ м},$$

де $\cos \alpha_i$ - кут встановлення вставок відповідно рис. 3.

Сумарний об'єм руйнування породного масиву шарошковим долотом П244,5Т-ЦВ бурового верстата СБШ-250 МНА-32 при кутах нахилу вставок у вінцях у відповідності до схеми враження вибою, рисунок 3:

$$V_1 = V_c \cdot n = h_{\text{я}}^3 \cdot 1,46 \cdot n = 0.001288915^3 \cdot 1,6 \cdot 3 = 0.009373420 \cdot 10^{-6}, \text{ м}^3.$$

Кількість стружок, що утворюються в об'ємі $V_{\text{обр}}$:

$$n_s = \frac{V_{\text{обр}}}{V_1} = \frac{1.502}{0.009373420 \cdot 10^{-6}} = 160287480 \text{ штук};$$

Швидкість буріння:

$$x_c = \frac{N \cdot (V_{\text{обр}} - V_1 \cdot n_{s1} \cdot k_{an1})}{S_p \cdot N \cdot T_{\text{обр}}} = \frac{(V_{\text{обр}} - V_1 \cdot n_{s1} \cdot k_{an1})}{S_p \cdot T_{\text{обр}}} =$$

$$= \frac{(1.502441554 - 0.009373418 \cdot 10^{-6} \cdot 160287480 \cdot 0.75)}{0.046951299 \cdot 1.88} = 4.27, \text{ м/год}$$

Продуктивність після зміни кута встановлення вставок долота верстата

$$\Pi_1 = S_p \cdot x_c = 0.05 \cdot 4.27 = 0.21 \text{ м}^3/\text{год},$$

Час витрачений буріння м³ породного масиву при швидкості 4,27 м/год

$$T_{\text{обр1}} = \frac{\Pi_1}{V_{\text{обр}}} = \frac{0.21}{1.502441554} = 0.14 \text{ години}$$

Енерговитрати на буріння породного масиву при кутах нахилу вставок у вінцях у відповідності до схеми враження вибою, рисунок 1.3:

$$q_1 = \frac{N \cdot T_{\text{обр1}}}{(V_{\text{обр}} - V_1 \cdot n_{s1} \cdot k_{an1})} = \frac{406 \cdot 0.14}{(1.502 - 0.009373418 \cdot 10^{-6} \cdot 160287480 \cdot 0.75)} = 151.37 \text{ Вт} \cdot \text{м}^3/\text{год}$$

Енерговитрати на буріння породного масиву при початковому розташуванні ріжучих вставок

$$q_2 = \frac{N \cdot T_{\text{обр1}}}{(V_{\text{обр}} - V \cdot n_s \cdot k_{an})} = \frac{406 \cdot 0.14}{(1.502 - 0.000012271 \cdot 122438 \cdot 0.8)} = 189.16 \text{ кВт} \cdot \text{м}^3/\text{год}$$

Енергозаощадження Δq при зміні схеми враження вибою, що досягнуто за рахунок зменшення витрат енергії на формування ядра ущільнення

$$\Delta q = q_2 - q_1 = 189.16 - 151.37 = 37.78, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^3,$$

Річна енергоощадність

$$q_p = \Delta q \cdot n_{\text{змін}} \cdot n_{\text{год}} \cdot n_d \cdot V_{\text{обр}} = 37.78 \cdot 2 \cdot 8 \cdot 252 \cdot 1.5 = 228813.9, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де $n_{\text{змін}}$ - кількість робочих змін, шт; $n_{\text{год}}$ - кількість годин роботи долотом за зміну, год; n_d - кількість робочих днів на рік.

Постановою Кабінету міністрів України від 15.08.2005 № 747, для споживачів I-ї категорії тарифи на електроенергію складають 52,31 коп/кВт·год. Розрахунок економічного ефекту буріння в гривнях:

$$\Pi = q_p \cdot K_{vt} = 228813.9 \cdot 0.5231 = 119692.55, \text{ гривень},$$

де Π - економічного ефекту буріння в гривнях; K_{vt} - вартість кВт·год електроенергії.

Висновки:

1. Створено методику розрахунку енергоощадності процесу шарошкового буріння, з урахуванням зниження енерговитрат на формування ядра ущільнення при зміні кута нахилу ріжучих вставок і радіусу шарошки.

2. В результаті виконання роботи, розраховано робочу швидкість бурового верстата СБШ-250 МНА-32 з долотом ПІ244,5Т-ЦВ яка складає 4,27 м/год і дозволяє бурити свердловини у породних масивах міцністю до 14 одиниць за шкалою професора М.М. Протод'яконова. При цьому продуктивність досягає 0,21, м³/год, що забезпечує зменшення енерговитрат на буріння від 189,16, кВт·год/м³ до 151,37 кВт·год/м³.

3. При зменшенні енерговитрати на 37,78, кВт·год/м³ річна енергоощадність складає 247300 кВт·год, що при вартості 52,31 копійки за одну кіловат/годину, дозволяє отримати річну економію 119692.55 гривень.

Практичні рекомендації:

1. Оскільки було змінено вставки на вінцях шарошок долота, необхідно підібрати кути таким чином щоб виконувалось руйнування по контурам, тобто відділяти контури кожного вінця.

2. При використанні бурового долота рекомендується в залежності від міцності породного масиву з 8 до 16, обирати долота з різним кроком встановлення і кутом нахилу ріжучих вставок. При міцних збільшені міцності породи кут нахилу вставок слід зменшувати.

Список літератури

1. Седов Л. И. Механика сплошной среды в 2 т. /Л. И. Седов - М.: Наука, 1993. - Т.1. – 528 с.
2. Протасов Ю.И. Разрушение горных пород / Ю.И. Протасов - М.: Недра, 2002. - 453 с.
3. Суриков В.В. Механика разрушения мерзлых грунтов / В.В. Суриков – Л.: Стройиздат, Ленингр. Отд-ние, 1998. – 128 с.
4. Солод В.И. Горные машины и автоматизированные комплексы / В.И. Солод, В.И. Зайков, К.М. Первов – М.: Недра, 1998. – 503 с.
5. Михайлов В. Г. Горные инструменты / В.Г. Михайлов - М.: Недра, 2001. - 212 с.
6. Міленіна Т. Ідея, що заповнила нішу [Текст] / Тетяна Міленіна // Дзеркало тижня № 7 (382) 23 лютого — 1 березня 2002 р.
7. Лозовой Д.А. Машины для разработки мерзлых грунтов /Д.А. Лозовой, Ю.М. Трушин, В.А. Запускалов, А.А. Покровский – Саратов: Приволжское книжное изд-во, 1998. – 156 с.
8. Терентьев О.М. Критеріальні параметри функціонування гірничих систем / О.М. Терентьев //Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. Серія “Гірництво”: [Зб. наук. праць /наук.ред. Воробйова В.Д.]. - К.: НТУУ“КПІ”: ЗАТ "Техновибух", 1999. - Вип. 1. – С. 95 - 107.
9. Терентьев О.М. Параметры ядра уплотнения режущего инструмента /О.М. Терентьев, Ф.Ф. Бондаренко, С.Н. Швец //Сб. Научные проблемы горного дела.- Донецк: ДПИ, 1987. – С. 41-44.
10. Мислюк, М.А. Довідник. Буріння свердловин [текст] : в 5 томах [Довідник 1-й том Загальні відомості. Бурові установки. Обладнання та інструмент].
11. Станок СБШ-250МНА-32. ТУ 2.08 2358-84 Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Часть 1.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Франчуком В.П.
Надійшла до редакції 16.06.09*

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Березовский Анатолий Анатольевич – кандидат геол.-мин. наук, доцент, декан геолого-экологического факультета Криворожского технического университета

Васильев Дмитрий Леонидович – кандидат техн. наук, главный технолог ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

Воробьев Виктор Данилович – доктор техн. наук, профессор кафедры инженерной экологии НТУ Украины «КПИ», г. Киев

Глухова Наталья Викторовна – кандидат техн. наук, доцент кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий НГУ, г. Днепропетровск

Демченко Юрий Иванович – кандидат техн. наук, доцент кафедры підземної розробки родовищ НГУ, м. Дніпропетровськ

Дриженко Анатолий Юрьевич – доктор техн. наук, профессор кафедры ОГР НГУ, г. Днепропетровск

Емец Вячеслав Сергеевич – инженер кафедры полезных ископаемых и экологической геологии ДонНТУ, г. Донецк

Жукова Наталья Ивановна – инженер каф. инженерной экологии НТУ Украины «КПИ», г. Киев

Зайченко Стефан Володимирович – кандидат техн. наук, ст. викладач кафедри Електромеханічного обладнання енергоємних виробництв, Інститут енергозбереження і енергоменеджменту Інституту енергозбереження і енергоменеджменту, НТУ «КПИ», м. Київ

Ишков Валерий Валериевич – кандидат геол.-мин. наук, зав. каф. минералогии и петрографии НГУ, г. Днепропетровск

Каталенец Анатолий Иванович – доктор геол.-мин. наук, профессор Криворожского экономического института Киевского Национального экономического университета

Коваленко Ирина Владимировна – ассистент кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий НГУ, г. Днепропетровск

Коваль Вадим Борисович – доктор геол.-мин. наук, академик Академии Наук Евразии, руководитель сектора урановых месторождений Института геохимии окружающей среды НАН и МЧС Украины, г. Киев

Козина Инна Валериевна – соискатель кафедры метрологии и информационно – измерительных технологий НГУ, г. Днепропетровск

Корчемагин Виктор Александрович – доктор геол.-мин. наук, профессор кафедры полезных ископаемых и экологической геологии ДонНТУ, г. Донецк

Крючков Анатолий Иванович – кандидат техн. наук, доцент, зав. кафедрой инженерной экологии НТУ Украины «КПИ», г. Киев

Курносое Сергей Анатольевич – кандидат техн. наук, старший научный сотрудник ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

Лозовой Андрей Леонидович – кандидат геол. -мин. наук, доцент кафедры геофизических методов разведки НГУ, г. Днепропетровск

Луценко Александр Николаевич – ассистент каф. эксплуатации гидромелиоративных систем и технических сооружений Днепропетровского государственного аграрного университета

Максимова Наталья Николаевна – магистр каф. эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства Днепропетровского государственного аграрного университета

Надутьий Володимир Петрович – доктор техн. наук, професор НГУ, зав. відділом ІГТМ НАН України, м. Дніпропетровськ

Орешников Юрий Васильевич – кандидат техн. наук, доцент каф. эксплуатации гидромелиоративных систем и технических сооружений Днепропетровского государственного аграрного университета

Орлинская Ольга Викторовна – доктор геол. наук, профессор, зав. кафедры эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства Днепропетровского государственного аграрного университета

Остапенко Віктор Олександрович – доктор техн. наук, професор ДНУ, м.

Дніпропетровськ

Павлов Игорь Олегович – канд. геол. наук, доцент кафедри полезных ископаемых и экологической геологии ДонНТУ, г. Донецк

Папіжук Сергій Володимирович – магістр кафедри Електромеханічного обладнання енергоємних виробництв Інституту енергозбереження і енергоменеджменту, НТУ «КПІ», м. Київ

Пасечник Андрей Михайлович – аспирант кафедри инженерной экологии НТУ Украины «КПИ», г. Киев

Пикареня Дмитрий Сергеевич – кандидат геол. наук, доцент, г. Днепропетровск

Почепов Віктор Миколайович – кандидат техн. наук, доцент кафедри підземної розробки родовищ НГУ, м. Дніпропетровськ

Проців Володимир Васильович – кандидат техн. наук, доцент кафедри основ конструювання машин та механізмів НГУ, м. Дніпропетровськ

Рева Николай Павлович – кандидат техн. наук, доцент каф. эксплуатации гидромелиоративных систем и технических сооружений Днепропетровского государственного аграрного университета

Савлук Сергей Валерьевич – инженер-механик ООО «Альфатех», г. Днепропетровск

Садovenko Іван Олександрович – доктор техн. наук, професор, зав. каф. гідрогеології та інженерної геології НГУ; м. Дніпропетровськ

Сафронов Ігор Леонідович – канд. геол.-мін. наук, доцент кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин НГУ, м. Дніпропетровськ

Сердюк Дар'я Дмитрівна – магістр кафедри загально геолог та розвідки родовищ корисних копалин Криворізького технічного університету

Слащев Игорь Николаевич – научный сотрудник ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

Собко Борис Ефимович – кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник учебно-научного Центра горных информационных технологий НГУ, г. Днепропетровск

Стеценко В'ячеслав Валерійович – кандидат геол. наук, доцент кафедри загальної геології та розвідки родовищ корисних копалин Криворізького технічного університету.

Сухарев Віталій Віталійович – молодший науковий співробітник ІГТМ НАН України, м. Дніпропетровськ

Сыркова Ольга Сергеевна – студентка НГУ, г. Днепропетровск

Терентьев Олег Маркович – доктор техн. наук, проф. кафедри електромеханічного обладнання енергоємних виробництв НТУ України „КПІ”, м. Київ

Терешкова Ольга Анатольевна – ассистент каф. общей и структурной геологии НГУ, г. Днепропетровск

Труфанова Марина Александровна – ст. лаборант кафедри минералогии и петрографии НГУ, г. Днепропетровск

Цыбань Денис Петрович – студент НГУ, г. Днепропетровск

Чернорай Анна Михайлівна – асистент кафедри геології та розвідки родовищ корисних копалин НГУ, м. Дніпропетровськ

Шастун Владимир Несторович – кандидат техн. наук, доцент каф. эксплуатации гидромелиоративных систем и технологии строительства Днепропетровского государственного аграрного университета

Шевчук Степан Прокопович – доктор техн. наук, професор, зав. кафедри Електромеханічного обладнання енергоємних виробництв Інституту енергозбереження і енергоменеджменту, НТУ «КПІ», м. Київ

Шустов Александр Александрович – аспирант кафедри ОГР НГУ, г. Днепропетровск

ЗМІСТ

1.	В.В. Ишков Мышьяк и фтор в угольных пластах Лисичанского геолого-промышленного района Донбасса	5
2.	В.В. Ишков, А.Л. Лозовой, М.А. Труфанова Особенности геологического строения участков расположения Днепровских порогов	15
3.	А.И. Каталенец, В.Б. Коваль О редкометальном оруденении Новоукраинского рудного поля (Западное Приазовье)	21
4.	А.А. Березовский К фаунистической характеристике малиновской свиты (средний эоцен) Криворожского бассейна	33
5.	І.Л. Сафронів, А.М. Чернорай Умови формування родовищ бурого вугілля на території північно-західного Донбасу та південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини	43
6.	В.А. Корчемагин, И.О. Павлов, В.С. Емец Вертикальная зональность дислокаций в сдвиговых зонах (по материалам отработки угольных пластов в Донецко-Макеевском районе)	51
7.	О.В. Орлинская, В.Н. Шастун, Д.С. Пикареня, О.А. Терешкова, Н.Н. Максимова Влияние железорудного отвала на изменения петрофизических свойств подстилающих пород	57
8.	В.В. Стеценко, Д.Д. Сердюк Еколого-геологічні особливості території гірничого відводу шахти ім. С.М. Кірова	63
9.	Н.П. Рева, Ю.В. Орешников, А.Н. Луценко Геомониторинг здания, возведенного на просадочных грунтах	67
10.	Б.Ю. Собко Встановлення області застосування безтранспортної системи розробки при освоєнні розсипних родовищ	72
11.	А.Ю. Дриженко, О.О. Шустов, Д.П. Цибань Нова технологія розробки мультимодальних обводнених родовищ із застосуванням драглайна у комплексі зі стрічковим конвеєром	78
12.	І.О. Садовенко, Ю.І. Демченко, В.М. Почепов Оцінка зміни рівня ґрунтових вод при просіданні меж області фільтрації на шахтному полі	83
13.	В.Д. Воробьев, А.И. Крючков, А.М. Пасечник, Н.И. Жукова Разработка алгоритма динамического взаимодействия сейсмозрывных волн с карстовой полостью	87
14.	В.В. Проців Визначення сил опору руху та направляючих зусиль шахтного шарнірно-зчленованого локомотива в режимі гальмування	96
15.	С.А. Курносков, И.Н. Слащев Оптимизация состава стеклопластиковых материалов для изготовления затяжек горных выработок	103
16.	Д.Л. Васильев Метод расчета предела прочности на сжатие образцов горных пород при постоянстве контактного касательного напряжения	111
17.	С.В. Савлук Динамика вибровозбудителя направленного действия, оснащенного упругим синхронизатором	117
18.	С.П. Шевчук, С.В. Зайченко, С.В. Папіжук Моделювання процесу дії роторно-відцентрової дробарки	123
19.	В.П. Надутый, В.А. Остапенко, В.В. Сухарев Оценка распределения сил при защемлении измельчаемой частицы в конусной валковой мельнице	130
20.	И.В. Козина Оперативная обработка материальных и информационных потоков в забоях угольных шахт с использованием расширенного метода анализа иерархий	135
21.	Н.В. Глухова, І.В. Коваленко, О.С. Сиркова Метрологічне та програмне забезпечення каналів інформаційно-вимірювальних систем	141
22.	О.М. Терентьев Зниження питомої енергоємності буріння гранітів шарошковими буровими станками	148
23.	Відомості про авторів	157

**Збірник наукових праць
Національного гірничого університету
№ 33, том 1**

Підписано до друку 02.07.2009. Формат 60х84/16.
Ум. друк. арк. 8,0. Обл.-вид. арк. 8,0.
Тираж 100 прим. Зам. № 175

Підготовлено до видання та видруковано
у Національному гірничому університеті.
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК №1842.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19