

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

Збірник наукових праць
Національного гірничого університету

№35
ТОМ 2

Дніпропетровськ
2010

УДК 622 (06)

Засновник та видавець
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Рік заснування – 1999

Збірник наукових праць НГУ. – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2010. - №35, т.2.- 288 с.

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

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

Збірник друкується за рішенням вченого ради НГУ
(протокол № 12 від 19.11.2010 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.

Редакційна Рада збірника:

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

Редакція:

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

Експертно-редакційна колегія:*Відкрита розробка РКК*

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

Збагачення корисних копалин

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

Екологічна безпека

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

Підземна розробка РКК

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

Маркишайдерія

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.
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.
Заїка В.Т. – д.т.н., проф.
Виланасенко С.І. – д.т.н., проф.
Бешта О.С. – д.т.н., проф.

Автоматизація технологічних процесів

Ткачов В.В. – д.т.н., проф.
Кузнецов Г.В. – д.т.н., проф.
Бешта О.С. – д.т.н., проф.
Кочура Є.В. – д.т.н., проф.
Слесарев 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,
Державний ВНЗ «НГУ», Ішкову В.В.
тел./ факс 726-77-04, 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 форматируется с выравниванием по ширине и междустрочным интервалом -1,0; отступ первой строки 1,2 см; абзацные отступы и интервалы – недопустимы; расстановка переносов автоматическая, номера страниц не проставляются.
- * Простые формулы в тексте набираются курсивом с помощью символов редактора Word, сложные формулы должны быть выполнены в приложении Equation Editor, соблюдая размеры, приведенные на рис. ⇒
- * Таблицы, графики и подписи к ним располагаются непосредственно в тексте и внедряются в документ как объекты, если они были созданы в Excel и др. приложениях.
- * Рисунки должны быть в черно-белом изображении и вставлены в текст в местах ссылки на них.
- * 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 (056) 726-77-04 Зберовский Александр Владиславович

46-90-98 Задорнова Виктория Валерьевна - ответственный секретарь.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗРОБКИ ОБВОДНЕНИХ ПОРІД РОЗКРИВУ В УМОВАХ БУРОВУГІЛЬНИХ КАР'ЄРІВ

Приведены физико-механические характеристики пород вскрыши Ново-Дмитровского месторождения бурых углей. Обоснованы устойчивая высота уступов, сложенных разнотипными породами и технология отработки их драглайном ЭШ-20/90

Наведені фізико-механічні характеристики порід розкриву Ново-Дмітровського родовища бурого вугілля. Обґрунтовані стійка висота уступів, складених різновидними породами і технологія відробки їх драглайном ЕШ-20/90

Physico-mechanical descriptions of breeds stripping of a Novo-Dmitrovsky deposit of brown coals are resulted. Steady height of ledges, built polytypic breeds and technology of working off their dragline of ESH-20/90 are proved

У сучасних умовах реформування економіки України промислове освоєння нових родовищ енергетичної сировини здобуває важливе значення. Нарощування паливно-енергетичного комплексу країни в найближчі десятиліття може здійснюватися переважно за рахунок відкритої розробки й промислового освоєння нових буровугільних родовищ. Після ліквідації ДХК "Олександріявугілля" і основних її структурних підрозділів особливу актуальність здобуває експлуатація одного з найбільш потужних великих – Ново-Дмітровського родовища бурого вугілля, що розташоване у північно-західній частині Донецького басейну і є новим для України генетичним типом буровугільних родовищ. Гірничо-геологічні умови розробки Ново-Дмітровського родовища складні. Вони визначаються великою глибиною залягання вугільних шарів, падінням їх на крилах мульди до $14 - 25^\circ$, зниженням потужності покладу на периферії до 2 – 5 м. Родовище є перспективним для розробки відкритим способом. Середній промисловий коефіцієнт розкриву складе $4 \text{ м}^3/\text{т}$, але на першому етапі розробки його величина буде досягати $10 \text{ м}^3/\text{т}$.

Мульдоподібна форма вугільних покладів визначила овальну форму кар'єрного поля Ново-Дмітровського родовища по поверхні. На замикаючих його ділянках по простяганню вугільні шари виклинцюються. У цьому зв'язку до розрахунку запасів вугілля приймаються шари потужністю більше 2 м. Границі кути укосів робочих бортів при поглибленні від 50 до 375 м знижуються в межах від 32 до 14° . Кути ж укосів неробочих бортів збігаються з кутом падіння вугільних покладів і витримуються у межах $25 - 15^\circ$. Відповідно до прийнятих положень довжина кар'єрного поля по поверхні становить 5250 м, ширина в центральній частині - 2700 м [1].

Поклади бурого вугілля представлені 5 продуктивними горизонтами (знизу доверху) – I, II, III (Основний), IV (Складний) і V (Верхній). Сумарна їх потужність у центральній частині родовища становить 155 – 157 м, знижуючись до периферії до 8 – 10 м. Найбільший промисловий інтерес представляють 2 горизонти: III – Основний та IV – Складний. Потужність III горизонту змінюється

від 2,0 до 73,8 м, будова родовища проста. До бортів кар'єрного поля потужність його плавно зменшується і під кутом 8...12⁰ виклинцюється повністю. Четвертий горизонт має складну будову і складається з 2 – 3 вугільних пачок. Максимальна потужність 36,6 м. П'ятий вугільний горизонт представлений двома пачками із загальною максимальною потужністю 8,2 м.

Особливість геологічної будови родовища полягає в чергуванні водо-вміщуючих і водотривких порід по глибині залягання, що дозволяє виділити наступні водоносні комплекси і горизонти: четвертинних і пліоценових, берексько-полтавських і харківських відкладень; київських пісків і київських піщаників; бучакських відкладень; палеозойських порід. Живлення **водоносного горизонту четвертинних і пліоценових** відкладень здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів через товщу льосовидних суглинків і, частково, за рахунок підземного стоку з вододілів. Водоносний горизонт підстилається монтморілонітовими глинами, що мають у межах мульди суцільне поширення і потужність від 3 до 6 м. Таким чином, породи на родовищі досить обводнених і вимагають особливі заходів щодо осушення при відкритій розробці.

Необхідно враховувати, що екскавація порід виймально-навантажувальними машинами впливає на стійкість укосів уступів й оцінюється двома факторами: формою укосу в результаті екскавації і величиною привантаження уступу, що викликається масою екскаватора, а також підживленням води з вище розташованих водоносних горизонтів. Гірські породи родовища відносяться до слабких (глинистих) і у своїй структурі досить різноманітні. Згідно вони відносяться до другої групи, мають схильність до пластичних деформацій, зсувам і обваленням в укосах. Вихідними даними для розрахунку кутів укосів уступів і бортів кар'єру в цілому послужили геологічні звіти по дослідженню родовища.

Основні шари, порід розкриву у геологічному перерізі зверху вниз **представлені** суглинками (четвертинні відкладення), у яких глинисті прошарки затримують воду, що просочується у дощові періоди, і будуть утворювати сприятливі умови для оповзання укосів. **Супісі** (пліоценові відкладення) мають обмежене поширення, залягають у вигляді лінз у верхній частині родовища. Нижче залягають глини **піщані** різнокольорові із прошарками піску й друзами гіпсу, а також **монтморілонітові**, по гранулометричному складу піщанисті, піщані й сильно піщані, місцями пилуваті; **піски глинисті** по гранулометричному складу дрібнозернисті, глинисті, пилуваті й, найчастіше, неоднорідні; **глини вуглисті**. **Піски** залежно від вмісту вуглистоого матеріалу: кварцові, на контактах з вугіллям частіше вуглисті, з малопотужними прошарками глинистих пісків і піщаних глин. **Глини опоковидні** із прошарками вуглистих глин і вапняків, з вуглефикованим детритом по нашаруванню, гідрослюдисті. **Діатоміти**: складаються із дрібних, слабко й міцно з cementovаних часток, зустрічаються різновиди пухкі, міцність яких трохи вище міцності опоковидних глин, і міцні, схожі на породи напівскельного типу.

В зв'язку з похилим падінням крил вугільних шарів на уступах кар'єру будуть розміщені як вугільні, так і розкривні вибої. При невеликій потужності

верхній уступ може спрацьовуватися повністю по висоті у межах одного шару. У той же час вибої по потужним вугільним шарам розподіляються по суміжним 3 – 5 уступам з різною їхньою висотою. У цьому зв'язку при плануванні видобувних робіт повинно передбачатися роздільне виймання вугілля й порід розкриву в одному вибої.

Оскільки основні фізико-механічні показники взяті по геологорозвідувальним свердловинам, виконані попередні розрахунки безпечного стану уступів в умовах відкритої розробки родовища, які засновані на розрахунку коефіцієнта запасу стійкості й на граничній рівновазі сил, що зрушують й утримують породу у межах призми можливого обвалення. При несприятливому впливі різних природних факторів уступ, що складається з декількох шарів порід, може переходити в нерівновагомий стан і зменшувати свою стійкість на контакті між ними. Основними причинами, які приводять до виникнення зсувів і порушення цілісності масиву, є:

- формування кута укосу уступу зі значенням більше стійкого, а також підробка основи його схилу;
- вплив маси зовнішніх навантажень на масив уступу;
- зміна фізико-механічних властивостей і характеристик окремих шарів порід в уступі або гірському масиві при впливі на них води.

Для умов порід Ново-Дмитрівського родовища виконаний розрахунок стійкості уступів, що складаються з декількох шарів без урахування розміщення на площинках гірничого устаткування. Розглянуто наступні породи: суглинки, глини піщані, монтморилонітові, вуглисті, опоковидні, вугілля, діатоміти, піски. Розрахунки виконані з урахуванням капілярного зволоження в природному стані й при введенні в розрахунки коефіцієнта запасу стійкості [3]. По рекомендаціях ВІОГЕМ при виконанні розрахунку стійкості в глинистих породах уводиться коефіцієнт запасу стійкості K_3 рівний 2,07.

Найбільші об'єми порід розкриву в границях кар'єру припадають на монтморилонітові глини. Ця група слабких, глинистих порід є найбільш різноманітною і має схильність до пластичних деформацій у гірничих виробітках. Вони являють собою темно-сірі і сірі, переважно монтморилонітового складу, з малопотужними прошарками вуглисті глини, вугілля, слабкі мергелі та мергелеподібні вапняки. Крім цього, суглинки, глини піщані, опоковидні і вуглисті, що також піддані пластичним деформаціям.

Для розрахунків коефіцієнту стійкості укосів уступів прийняте припущення про плоску деформацію, коли поверхня ковзання – циліндрична з утворюючими, що паралельні поверхні схилу, а завдання зводиться до пошуку критичною напряму, названого лінією ковзання. Такий підхід заснований на припущеннях, що просторовість не впливає на величину коефіцієнта запасу стійкості. У розрахунках використаються різні форми лінії ковзання, в основному дугоподібні. Однак для неоднорідних укосів, таких як на Ново-Дмитрівському родовищі зі складною гідрогеологічною обстановкою, обмеження на вибір поверхні ковзання повинні бути мінімальними. В основі алгоритму розрахунку лежить методика, запропонована в роботі [4] та інших і заснована на методі змінного ступеня мобілізації опору зрушенню шляхом апроксимації геометрії

укосу за допомогою безперервних кусочно-ламаних ліній в окремих відсіках.

Приклад результатів розрахунку виконаний для уступу «глина опоковидна – діатоміти – глина опоковидна», фізико-механічні властивості яких наведені в таблиці. Основні фізико-механічні властивості порід для розрахунків прийняті відповідно до природних умов. По отриманому укосу і ймовірній лінії ковзання коефіцієнт запасу стійкості становить для природних умов – 1,068.

З рис. 1 видно, що поверхня ковзання відносно круглоциліндрична, однак при виконанні розрахунків, пов'язаних із діатомітами, розташованими у вигляді прошарку між глинами, поверхня ковзання по них у профілі виявилася майже вертикальною. Досліджено найнебезпечніші контакти шарів по глибині розробки в природному стані з урахуванням коефіцієнта запасу стійкості. Можливі варіанти контактних шарів розраховані до глибини 150 м. Положення окремих шарів по висоті на оголеній укосу в розрахунках різне. При введенні у фізико-механічні параметри шарів показника K_{3y} коефіцієнт стійкості знижується в 2 – 3 рази.

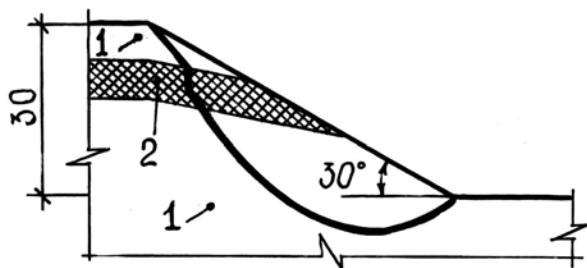


Рис. 1. Схема укосу й можливої лінії ковзання для діатомітів (середній шар) і глин опоковидних при розробці уступів висотою 30 м: 1 - глина опоковидна; 2 - діатоміти

Мульдоподібна будова родовища приводить до того, що вибій екскаватора, який складений по висоті з декількох шарів, у міру посування фронту робіт характеризується зміною їх як по висоті розташування, так і по потужності. Для уступу висотою 30 м з кутом укосу 30°, що складається із шарів глин піщаних і монтморілонітових по висоті h_c щодо нижньої брівки уступу, показані розрахункові значення коефіцієнта стійкості (рис. 2 і 3). Кут падіння шару для розрахунку прийнятий 4°. З урахуванням того, що монтморилонітові глини є водопідпором, а глини піщані на контакті шарів можуть пропускати воду, установлені значення коефіцієнта стійкості при обводненому верхньому шарі. Зменшення потужності обводненого верхнього шару глин піщаних веде до збільшення стійкості загального масиву гірських порід при розташуванні контакту шарів на висоті 6 м від нижньої брівки уступу (див. рис. 3).

Відомо, що підвищення стійкості уступів здійснюється, як правило, шляхом зменшення кута укосу уступу і його висоти, зниження рівня води на підтопляємій основі або обмеження доступу води до гірничих виробок, зниження впливу маси працюючого устаткування, привантаження укосів зсуvnих ділянок упорними призмами тощо. Тому для безпечної роботи виймально-навантажувального устаткування в умовах підтопляємих уступів варто орієнтуватися на застосування потужних драглайнів.

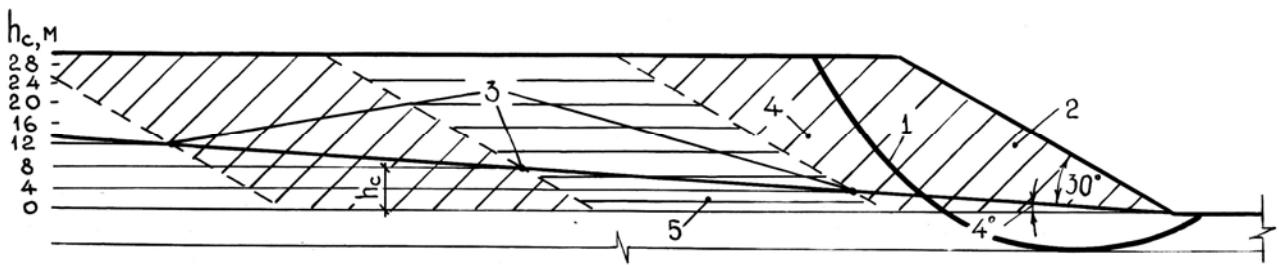


Рис. 2. Схема зрушення укосу уступу для глинистих порід: 1 - лінія ковзання; 2 - укос уступу; 3 - крапки контакту шарів на укосі по ходу посування фронту робіт; 4 - глини піщані (верхній шар); 5 - монтморилонитові глини (нижній шар)

При підтопленні нижньої площини уступів кар'єру драглайні виявляються у більше надійному стані у порівнянні з іншими екскаваторами. Так, для потужних драглайнів питоме навантаження на ґрунт становить 0,1 – 0,18, тоді як для роторних екскаваторів 0,1 – 0,22; гідралічних 0,14 – 0,22 і кар'єрних мехлопат 0,2 – 0,33 МПа. Крім того, драглайні при роботі розташовані на верхній площині уступу й мають радіус копання до 100 м.

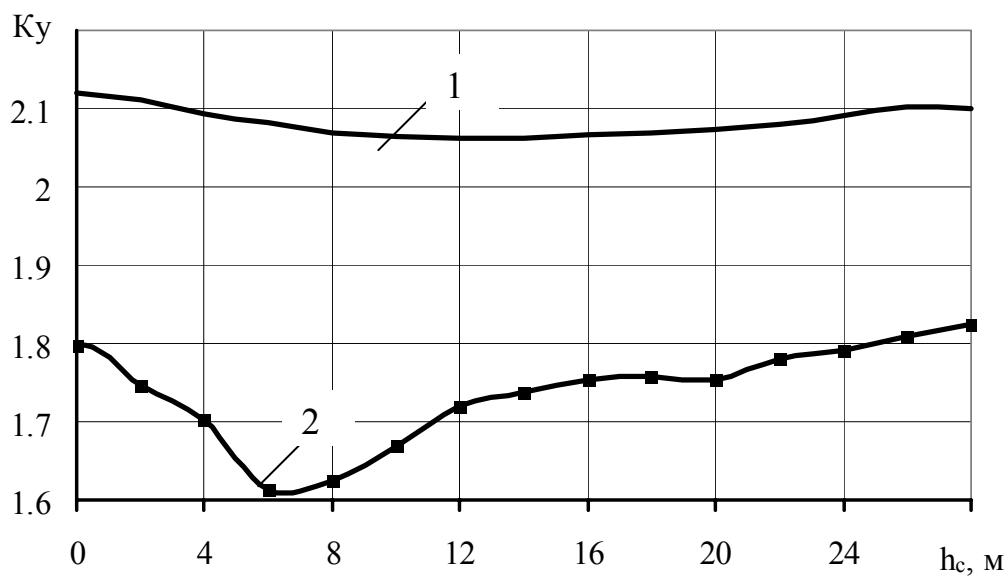


Рис. 3. Графіки зміни коефіцієнта стійкості укосу K_y при зміні висоти контакту шарів h_c (м) глинистих порід щодо нижньої бровки уступу в природних умовах і при обводнюванні верхнього шару: 1 – істотний необводнений стан; 2 – обводнений верхній шар

Так, наприклад, схемою відпрацьовування розглядаємоих типів уступів передбачається робота драглайна ЕШ-20/90 як верхнім, так і нижнім черпанням з навантаженням у пересувний бункер. Транспортування порід на поверхні, здійснюється стрічковими конвеєрами. Гірнича маса через завантажувальний бункер перевантажується на вибійний конвеєр, після чого направляється на телескопічний і по ньому до магістральних похилих конвеєрів, які видають розкрив або корисну копалину по двом транспортним лініям на поверхню.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта стійкості K_y для уступів висотою 30 м, складених різними шарами порід

Кількість шарів (униз). Тип по- рід	Потужність шару, м/ кут нахилу шару, град.	Кут внут- рішнього тертя, град	Питоме зчеплення, т/м ²	Питома ва- га, т/м ³	Глибина від поверхні, м	Коефіцієнт стійкості	
						У природному стані	У природному стані з ураху- ванням K_{3y}
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Суглинки	10/5	6	9,9	1,97			
2. Монтморилонітові глини	20/5	8	11,5	1,74	30	1,932	0,714
1. Глини піщані	20/4	14	14,6	2,02			
2. Монтморилонітові глини	10/4	8	11,5	1,74	30	2,064	0,739
1. Монтморилонітові глини	25/9	8	11,5	1,74			
2. Діатоміти	5/9	32	12	1,42	60	3,051	1,906
1. Монтморилонітові глини	10/9	6	9,9	1,97			
2. Вугілля (складний горизонт)	10/9	31	35	1,19	60	3,406	0,724
3. Монтморилонітові глини	10/9	8	11,5	1,74			
1. Глини опоковидні	11/11	17,5	12,5	1,37			
2. Діатоміти	8/11	32	12	1,42	90	1,068	0,015
3. Глини опоко видні	11/11	17,5	12,5	1,37			
1. Глини опоко видні		17,5	12,5	1,37	90	3,629	1,189
1. Монтморилонітові глини	10/11	8	11,5	1,74			
2. Діатоміти	10/11	32	12	1,42	90	0,881	0,361
3. Монтморилонітові глини	10/11	8	11,5	1,74			
1. Діатоміти	8/11	32	12	1,42			
2. Глини опоковидні	10/11	17,5	12,5	1,37	120	4,304	3,986
3. Вугілля (основний горизонт)	12/11	31	35	1,19			
1. Вугілля	15/19	31	35	1,19			
2. Піски	15/19	30	1,6	1,92	150	2,694	1,628

Одним драглайном ЕШ-20/90 спрацьовується уступ висотою 40 – 45 м. Нижнім черпанням глибина виймання становить 30 м, верхнім – від 10 до 15 м. Екскаватор човночно рухається уздовж вибою з верхнім (уперед) і нижнім (назад) черпанням. Перехід від верхнього підступу до нижнього здійснюється у районі натяжного приводу вибійного конвеєра. Після відпрацьовування чергової частини західки здійснюється пересувка секції вибійного конвеєра, довжина якої становить 300 або 500 м, у напрямку переміщення фронту гірничих робіт і нарощування телескопічного конвеєра на довжину, рівну кроку пересувки вибійної лінії. На приймальному пункті здійснюється перевантаження гірничої маси з телескопічного конвеєра на магістральні підйомні залежно від типу породи.

У процесі відкритої розробки варто передбачати здійснення заходів щодо зниження водопритоків в кар'єр, виконувати роботи і зниження рівня напірних вод. Першочерговим заходом щодо осушення гірського масиву є проведення по периметру кар'єру водознижуючих свердловин, обладнаних глибинними насосами. Визначення кроку проходки свердловин, їхньої глибини й потужності насосів виконують по відомим методикам. На додаток до вертикальних у нижніх брівок верхніх підступів проходять горизонтальні водознижуючі свердловини, а у нижніх (основних) підступів - дренажні канави. У міру посування вибою екскаватор формує водовідвідну канаву уздовж основи укосу підступу. При переміщенні фронту гірських робіт канава засипається бульдозером і по її поверхні переміщають забійний конвеєр.

Геологічна будова Ново-Дмитрівського родовища, а також наявність водо-вміщуючих і водотривких порід по глибині залягання буровугільних горизонтів вимагають виконання певних умов для забезпечення безпечної роботи потужного устаткування. Наведені вище гірничотехнічні дані повністю відповідають умовам експлуатації драглайнів на підтоплюємих уступах. При виконанні заходів щодо зниження рівня підземних вод стійкість масиву збільшується й за рахунок цього при відпрацьовуванні підступів, що складаються зі слабких однорідних порід або складених з декількох їхніх шарів, можливо домогтися підвищення безпеки виконання робіт з виїмки розкриву й видобутку корисної копалини.

Список літератури

1. А.Ю. Дриженко, О.А. Анисимов, А.А. Шустов Обоснование параметров открытой разработки Ново-Дмитровского месторождения бурых углей / Збірник наукових праць НГУ №32 – Дніпропетровськ: РВК НГУ, 2009, С. 69 – 75.
2. Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров отвалов. – М.: Недра, 1965. – 378 с.
3. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. – Л.: ВНИМИ, 1972. – 162 с.
4. Федоровский В.Г., Кирилло С.В. Метод переменной степени мобилизации сопротивления грунту для расчета прочности грунтовых, массивов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – Москва, 1998. – № 4-5.– С. 18 – 22.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 22.11.10*

СТАТИСТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БУРО-ВИБУХОВИХ РОБІТ НА КАР'ЄРАХ

Процес подрібнення скельових порід вибухом на кар'єрах представлено дискретним переходним процесом, управління яким запропоновано виконувати на основі статичної моделі, що передбачає оперативне отримання об'єктивної інформації про міцність і тріщинуватість порід, її статистичний аналіз і практичне впровадження одержаних результатів в різноманітних гірничо-геологічних умовах.

Процесс дробления скальных пород взрывом на карьерах представлен дискретным переходным процессом, управление которым предложено выполнять на основе статической модели, предусматривающей оперативное получение объективной информации о крепости и трещиноватости пород, ее статистический анализ и практическое использование полученных результатов в разнообразных горно-геологических условиях.

The process of crushing of rocky breeds an explosion on careers is presented by a discrete transient, management which it is offered to execute on the basis of static model, foreseeing the operative receipt of objective information about a fortress and fissuring of breeds, her statistical analysis and practical use of the got results in the various mining and geological conditions.

Прибутки гірничих підприємств, які розробляють родовища скельових корисних копалин визначаються техніко-економічними показниками комплексу буро-вибухових робіт (далі скорочено БВР).

Способи оптимізувати ці роботи, як правило, зводяться до складання цільової функції, її дослідження по мінімуму сумарних витрат на основні технологічні процеси і визначення найбільш сприятливого питомого заряду вибухової речовини. Одержаній розрахунковий результат важливого параметра управління комплексом БВР неефективний в практичному застосуванні, бо він суттєво залежить від фізико-механічних властивостей гірничих порід, об'єктивна оцінка яких в кожному конкретному випадку не передбачувана. Вірогідність помилки при цьому обумовлена тим, що дробимістість порід енергією вибуху відрізняється не тільки в межах відведеного родовища, а навіть на кожній його частині (тобто на кожному блоці порід, що розробляється).

Кінцевий результат подрібнення скельових порід вибухом (гранулометричний склад гірничої маси) взагалі не контролюється за винятком відносної оцінки некондиційних фракцій, тобто негабаритних кусків, які потребують додаткового подрібнення.

Відсутність оперативної інформації про стан гірничих порід до вибуху і після нього, безумовно, не дає можливості приймати найкращі стратегії управління при проектуванні і виконанні буро-вибухових робіт в різноманітних геологічних умовах.

Запропоновано роздрібнення скельових порід вибухом розглядати як переходний процес від одного ступеня їх подрібнення тріщинами природного та технічного походження в другий, більш інтенсивний за рахунок прикладеної енергії підріваної вибухової речовини (рис. 1).

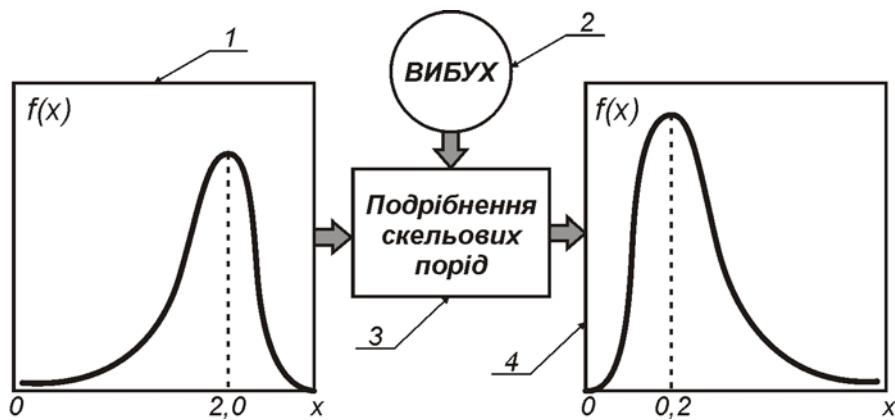


Рис. 1. Схематичне представлення переходного процесу подрібнення скельових гірничих порід вибухом,

де 1; 4 – диференційні функції розподілу середніх розмірів кусків порід відповідно до і після вибуху, x , (м); 2 – вибух в умовному зображені; 3 – «чорний ящик», в якому формується складне поле напруг і внаслідок його дії виконується подрібнення масиву порід

Вказане представлення процесу подрібнення порід, що розробляються, дозволяє впровадити для нього ефективний метод управління по зворотному зв’язку. Він передбачає одержання оперативної інформації про стан переходного процесу на його початку і в кінці, порівняння одержаних результатів з еталоном, корегування параметрів управління по відхиленням і їх реалізацію на наступному етапі. Такі операції циклічно повторюються для кожного блока порід по мірі переміщення діючої лінії забой.

До початкової інформації про стан масиву гірничих порід віднесено їх міцність і тріщинуватість (тобто характеристику природної блочності). З метою оперативного її отримання створено і випробувано в промислових умовах експериментальний зразок електронного пристроя. Він передбачає безперервну реєстрацію швидкості буріння гірничих порід при обов’язковому контролі основних експлуатаційних параметрів бурового верстата. Це – тиск в робочому гідроциліндрі і частота обертів виконавчого органа.

Для встановлення залежності швидкості буріння свердловини від міцності порід, що пересікаються нею, були виконані широкі статистичні дослідження. Вони базувались на багатьох експериментах, проведених в промислових і лабораторних умовах.

На різних ділянках родовища корисних копалин, що розробляються кар’єром, бурились свердловини шарошечним верстатом по сітці, розрахованій з точки зору випадкових подій. На кожному метрі глибини свердловини фіксувались середні значення швидкості буріння, осьового зусилля на долото і частоти обертів бурової штанги. Поруч з такою свердловиною бурилась свердловина колонковим верстатом і із одержаного керна порід виготовлялись зразки для лабораторних досліджень. При цьому глибини свердловин, з яких бралися зразки порід і на яких досліджувалися основні характеристики шарошечного буріння, ставились у відповідність. Всі зразки порід випробувались на одновіс-

не стиснення з послідуочим визначенням коефіцієнта міцності за Протодъяконовим.

Після статистичного опрацювання численних експериментальних даних одержана наступна залежність між величинами, що тісно корелюють [1]:

$$v = \eta \frac{\sqrt{pn}}{f^2 d},$$

Звідки

$$f = k \sqrt[4]{pnt^2},$$

де v – швидкість буріння свердловини,

η – коефіцієнт, який залежить від типу корисної копалини;

p – тиск в робочому гідроциліндрі бурового верстата;

n – частота обертів виконавчого органа;

f – коефіцієнт міцності за Протодъяконовим;

d – діаметр бурового долота, який для кар'єрів практично не змінюється;

k – коефіцієнт, враховуючий сталі технологічні показники, $k = \sqrt{\frac{\eta}{ld}}$;

l – довжина частини свердловини, яка контролюється;

t – час буріння частини свердловини довжиною l .

Шляхом перетворення значень вимірювальних параметрів p, n, t в пропорційні електричні сигнали реалізовано алгоритм визначення коефіцієнта міцності порід безпосередньо на буровому верстаті за допомогою нової моделі електронного приладу.

Загальний вигляд приладу показано на рис. 2.



Рис. 2. Загальний вигляд електронного приладу для вимірювання міцності і тріщинуватості гірничих порід

Промислові випробування приладу показали, що в межах статистичної похибки він дозволяє оцінювати руйнівну здатність скельових порід, тобто оперативно одержувати інформацію про початковий стан перехідного процесу, запро-

понованого в даній науковій роботі. Слід відмітити, не варто чекати остаточної розробки метода управління комплексом БВР по зворотному зв'язку, створений прилад уже зараз корисний інженерно-технічним працівникам кар'єрів на стадії проектування масових вибухів. Для ефективного його використання рекомендовано міцність і тріщинуватість порід вимірювати під час буріння перебурів свердловин вищих горизонтів, або при бурінні декількох вибіркових свердловин. В останньому випадку вибірка повинна бути репрезентативною, тобто її об'єм обчислюється по загально відомим статистичними правилами.

Процес подрібнення скельових порід вибухом, умовно віднесений до «чорного ящика», представляє собою інтенсивне руйнування природних блоків під впливом складного поля напруг, сформованого енергією підірваної вибухової речовини. Звідси виходить, що розподіл окремих кусків за розмірами в об'ємі одержаної гірничої маси (її фракційний склад) залежить від первинних характеристик масиву гірничих порід, а також від тензорних полів, зумовлених наступним тензором напруг:

$$T_h = \begin{vmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{vmatrix} = \sigma_{ij} r_i$$

де σ_{ij} – множина напруг (дев'ять складових), нормальних ($i = j$) відносно трьох взаємно перпендикулярних площинок; r_i – одиничний вектор, нормальній до відповідної площинки.

Залежність міри роздрібнення гірничої маси від параметрів поля напруг розглянуто в лінійному просторі, адже в прикладних дослідженнях домінує гіпотеза, що руйнування крихких матеріалів переважно відбувається за рахунок розтягуючих напруг. При цьому прийнята статистична теорія роздрібнення гірничих порід вибухом.

Кожній ослабленій точці породи (дислокації, мікро- чи макротріщині) відповідає напруга, при якій з цієї точки починає розвиватися тріщина. Очевидно існує функція, яка визначає залежність кількості тріщин, що розгалужуються в одиниці об'єму, від величини напруг, які спричинили їх розвиток

$$n = f(\sigma)$$

При цьому середня величина одержаного куска буде

$$\begin{cases} g_{cp} = \frac{1}{f(\sigma)}, \\ g_{cp} = \varphi(\sigma). \end{cases}$$

Приведена функція називається функцією роздрібненості, її графік показано на рис. 3.

Точка А перетину кривої з віссю V ($\sigma = 0$), показує величину середнього об'єму тих частин, на які масив розбито природною тріщинуватістю.

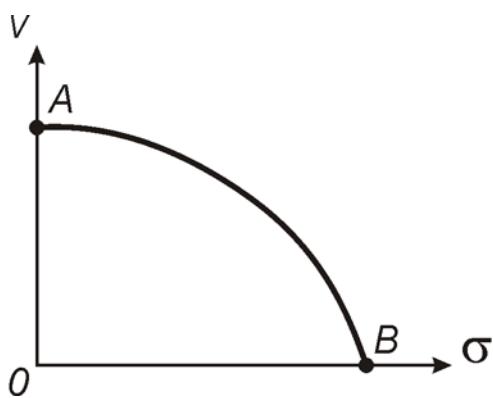


Рис. 3. Графік залежності середнього об'єму тих частин, на які розділяється порода від прикладених напруг

збільшуватися число ослаблених місць, з яких зростанням σ зменшується середній об'єм, що приходиться на одну ослаблену точку (функція $\varphi(\sigma)$ обернена функції $f(\sigma)$), то, відповідно, зменшується середня відстань між точками і, очевидно, час, необхідний для зімкнення тріщин.

Із цього слідує важливий для практики роздрібнення порід висновок: короткий імпульс високих напруг, діючих впродовж часу, достатнього для зімкнення тріщин, роздрібнює породу сильніше, ніж довгий імпульс низьких напруг.

Більш детальний розв'язок задач формування кусковатості гірничої маси, одержаної завдяки енергії вибуху, запропоновано розглядати на основі прогнозування закономірностей розміщення (розподілу) ослаблених точок в природному масиві. Цей розподіл має випадковий характер і потребує аналізу в кожних гірничо-геологічних умовах. Якщо положення якої-небудь точки не залежить від місць знаходження інших точок, то згідно з [2] вони розподіляються в об'ємі по закону Пуассона

$$p_m = \frac{(n\vartheta)^m}{m!} e^{-n\vartheta},$$

де p_m – вірогідність попадання точок в розглядаємий об'єм ϑ ;

n – середня кількість точок, що припадають на одиницю об'єму;

m – вірогідна кількість точок в об'ємі ϑ .

В системі ослаблених точок, розглянутій вище, об'єм, обмежений сусідніми точками, також є випадковим і, згідно з [2], розподіляється за показниковим законом, диференційна функція якого (густість) має вигляд

$$p_\vartheta = \begin{cases} n e^{-n\vartheta}, & \text{якщо } \vartheta \geq 0, \\ 0, & \text{якщо } \vartheta < 0. \end{cases}$$

Ця функція відображає гранулометричний склад по кількості кусків різних об'ємів. Для розв'язку практичних задач прийнято виходити з гранулометричного об'єму кусків різної величини. Знайдемо функцію розподілу кусків по об'єму.

Точка В перетину кривої з віссю σ дає величину теоретичної міцності монолітної породи.

Таким чином, функція роздрібненості охоплює дуже широке коло властивостей породи – від інтенсивності тріщинуватості до її теоретичної міцності, отже являється представницьким параметром, що характеризує властивість середовища роздрібнюватися на куски різноманітних розмірів.

Функція $n = f(\sigma)$ зростаюча, бо при зростанні напруг весь час буде

з яких розвиваються тріщини. Так як зі зростанням σ зменшується середній об'єм, що приходиться на одну ослаблену точку (функція $\varphi(\sigma)$ обернена функції $f(\sigma)$), то, відповідно, зменшується середня відстань між точками і, очевидно, час, необхідний для зімкнення тріщин.

Густість функції розподілу величини об'єму також можна представити наступним чином

$$p_g = \frac{n_g}{N},$$

де n_g – вірогідна кількість кусків заданої величини, що утворилася в загальному об'ємі V ;

N – загальна кількість кусків, які утворилися, $N = nV$.

$$\text{Отже, } \frac{n_g}{nV} = ne^{-n\vartheta}$$

$$\text{Звідки } n_g = n^2 e^{-n\vartheta}.$$

Якщо вказану рівність помножити на ϑ , то лівій частині виразу $n_g\vartheta = n^2 \vartheta e^{-n\vartheta}$ буде вірогідний сумарний об'єм кусків величиною ϑ , який позначено V_n .

$$\text{Tоді } f(\vartheta) = \frac{V_n}{V},$$

де $f(\vartheta)$ – густість функції розподілу сумарного об'єму кусків різноманітної величини.

Після нескладних перетворень буде $f(\vartheta) = n^2 \vartheta e^{-n\vartheta}$.

Графік цієї функції для випадку, коли кількість обслаблених точок $n=2$, показано на рис. 4.

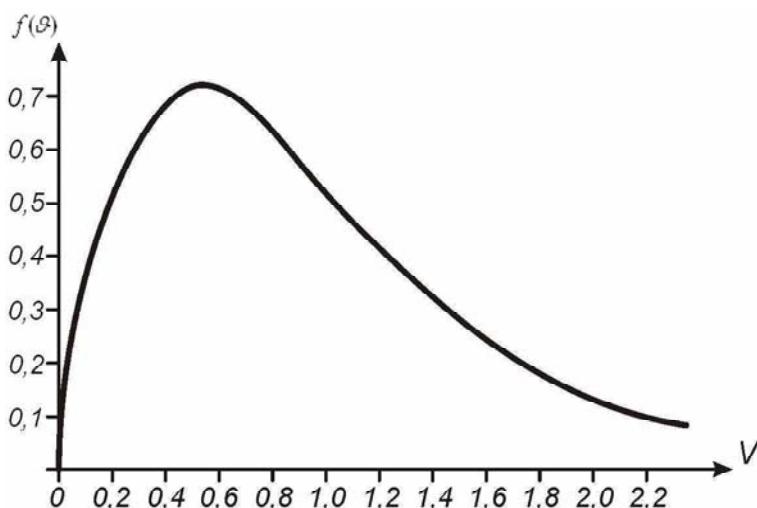


Рис. 4. Графік диференційної функції розподілу сумарного об'єму кусків, при $n=2$

Середня за об'ємом величина кусків визначається математичним очікуванням $M(\vartheta)$ за правилом

$$M(\vartheta) = \int_0^{\infty} \vartheta f(\vartheta) d\vartheta$$

Після інтегрування вказаного невласного інтеграла буде

$$M(\vartheta) = \lim_{b \rightarrow \infty} \int_0^{\infty} n^2 \vartheta^2 e^{-n\vartheta} d\vartheta = \frac{2}{n}$$

$$f(\sigma) = \frac{1}{n}$$

У зв'язку з тим, що

$$f(\vartheta) = \left(\frac{1}{f(\sigma)} \right)^2 \vartheta e^{-\frac{\vartheta}{f(\sigma)}},$$

$$M(\vartheta) = 2f(\sigma)$$

Якщо на масив гірничих порід з відомою функцією роздрібненості діяла напруга σ_1 впродовж часу, достатнього для зімкнення тріщин, то гранулометричний склад одержаної гірничої маси визначається функцією

$$f(\vartheta) = \left(\frac{1}{f(\sigma_1)} \right)^2 \vartheta e^{-\frac{\vartheta}{f(\sigma_1)}},$$

а середній кусок $M(\vartheta) = 2f(\sigma_1)$.

Створити універсальну фізичну модель формування поля напруг і гранулометричного складу гірничої маси під впливом вибраних параметрів БВР в нестабільних гірнико-геологічних умовах, придатну для ефективного використання на підприємствах (тобто розгадати вміст «чорного ящика»), дуже складно, практично неможливо. Тому обґрунтована доцільність впровадження статистичних методів дослідження, як основи для прийняття інженерних рішень при проектуванні масових вибухів. З точністю, домінуючою в гірничій справі, виконано достатньо широке інформаційне забезпечення таких досліджень.

На окремому блоці розробляємих порід електронним приладом контролювались їх міцність і тріщинуватість, реєструвались складові питомого заряду вибухової речовини – величина свердловинного заряду, розміри сітки свердловин і висота уступу, а також вимірювались кусковатість гірничої маси з подальшим обчисленням узагальнюючих показників, що однозначно характеризують якість проведеного вибуху.

В результаті застосування статистичних методів обробки і дослідження вказаної інформації, накопиченої за різними блоками скельових порід, одержана наступна експериментальна залежність між тісно корелюючими змінними

$$\begin{cases} g = \frac{\sqrt{\Delta f}}{l_n(kx_{max})}, & \text{кг/м}^3 \\ g = \frac{Q}{abh}, \end{cases}$$

де g – питомий заряд вибухової речовини, x_{\max}, Δ – відповідно, розмір і доля домінучої фракції в загальному об'ємі гірничої маси;

f – коефіцієнт міцності порід за Протодъяконовим;

k – коефіцієнт природної блочності порід, який визначається кількістю тріщин по висоті уступу. Для залізорудних родовищ за статистичними дослідженнями його значення наведені в табл. 1;

Q – величина свердловинного заряду;

a, b – розміри сітки свердловин;

h – висота уступу, в подальших розрахунках використано технологічне її значення, $h = 10$.

Таблиця 1

Експериментально обґрунтовані значення коефіцієнта природної блочності порід, рекомендовані для розрахунку питомих зарядів вибухової речовини

Кількість тріщин $n \in (n_1; n_2]$	(0;5]	(5;10]	(10;15]	(15;20]	(20;25]	$n > 25$
Тип порід	вельми крупно-блочні	крупно-блочні	середньо-блочні	мало-блочні	сильно по-дрібнені	вельми сильно по-дрібнені
Значення коефіцієнта,	100	150	200	250	300	350

Рекомендована наступна стратегія прийняття раціональних рішень при проектуванні і виконанні масових вибухів на кар'єрах:

1. На основі даних електронного приладу визначається вірогідний коефіцієнт міцності порід блоку по вибірковим свердловинам і інтервалу $(n_1; n_2]$, до якого відносяться ці породи за тріщинуватістю.

2. За табл. 1 для встановленого інтервалу визначається коефіцієнт природної блочності, k .

3. Задаються економічно обґрунтованими значеннями x_{\max} і Δ . При цьому повинна виконуватись умова

$$\frac{h}{n_1} > x_{\max} > \frac{h}{n_2}.$$

4. За першою формулою системи для встановлених значень f, k, x_{\max}, Δ обчислюється величина питомого заряду вибухової речовини.

5. На основі досвіду виконання буро-вибухових робіт в умовах, близьких до зафікованих, визначаються розміри сітки свердловин, (a, b) .

6. Для знайдених значень g, a, b за другою формулою системи обчислюється величина свердловинного заряду, Q . При цьому максимальне його значення обмежується ємністю свердловини; якщо розрахункова величина заряду

за ємністю буде займати менше половини висоти свердловини, необхідно застосувати його розсереджену конструкцію.

7. За одержаними значеннями g, a, b, Q і типом конструкції свердловинного заряду складається паспорт на виконання масового вибуху.

За приведеною методикою статистичних досліджень обчислені питомі заряди штатної вибухової речовини для деяких умов родовищ залізних руд, табл. 2.

Таблиця 2

Рекомендовані значення питомих зарядів вибухової речовини і прогнозовані показники гірничої маси

Коефіцієнт міцності порід за Протодьяконовим, f	Коефіцієнт природної блочності порід, k	Розмір домінуючої фракції в гірничій масі, x_{\max}	Доля домінуючої фракції, Δ	Питомі заряди вибухової речовини, g , кг/м ³
18	100	0,2	0,3	0,77
			0,5	1,0
			0,7	1,2
		0,3	0,3	0,68
			0,5	0,89
			0,7	1,0
	200	0,2	0,3	0,63
			0,5	0,81
			0,7	0,96
		0,3	0,3	0,57
			0,5	0,73
			0,7	0,87
	300	0,2	0,3	0,57
			0,5	0,73
			0,7	0,87
		0,3	0,3	0,51
			0,5	0,67
			0,7	0,79

В перспективі ці положення складуть реальні передумови для створення алгоритму оптимального управління комплексом БВР на відкритих розробках родовищ скельових корисних копалин.

Список літератури

- Щербаков П.Н., Ткаченко В.М., Пульянович С В . Метод оперативной оценки крепости и трещиноватости горных пород при производстве буровзрывных работ на карьерах. - «Горный журнал», 1983, № 7, с.35-37.
- Прохоров Ю.В., Розанов Ю.А. Теория вероятностей. М., изд-во «Наука»,1967.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дрижсенком А.Ю.
Надійшла до редакції 02.11.10*

МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ РАЗРЕЗНЫХ БАРАБАНОВ ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ МАШИН

Изложены результаты моделирования несимметричной нагрузки барабана шахтной подъемной машины ЦР – 6х3,4/0,6.

Наведено результати моделювання несиметричного навантаження барабана шахтної підйомної машини ЦР – 6х3,4/0,6.

The results of modeling asymmetrical loading of mine winder ЦР – 6х3,4/0,6 are considered.

Актуальность работы. Уменьшение металлоемкости и повышения прочности и долговечности барабанов шахтных подъемных машин (ШПМ) – актуальная техническая задача. Заклиненная и переставная части барабана и вал изгибаются как балка, что приводит к снижению долговечности и возникновению усталостных трещин. Обоснование параметров необходимой изгибной жесткости барабана с валом невозможно без корректного определения несимметричной нагрузки.

Состояние вопроса. На данный момент не существует обоснования расчетных нагрузок в основных расчетных случаях, поэтому при расчете барабанов ШПМ необходим учет тормозной нагрузки, сосредоточенных сил наматываемого и разматываемого каната и силы тяжести. В связи с этим, моделирование несимметричной нагрузки барабанов ШПМ является актуальной научной задачей.

Цель работы – обосновать компьютерную модель несимметричной нагрузки на барабан ШПМ ЦР – 6х3,4/0,6 путем анализа работы барабана и нагрузок, действующих на него; создания и исследования компьютерных моделей тормозной нагрузки барабана, взаимодействия наматываемого и сматываемого канатов с барабаном, учета собственного веса намотанного каната.

Барабан подъемной машины производства ЗАО «НКМЗ» (рис.1) – одинарный, разрезной, цилиндрический, сварной конструкции. Каждая часть барабана, переставная 11 и заклиненная 12, по наружной поверхности имеет винтовую нарезку под канат 14. Нижний сматываемый порожняковый канат 2, закрепленный на заклиненной части барабана, может навиваться только до разреза, т.е. до переставной части барабана. Верхний наматываемый грузовой канат 1, закрепленный на переставной части барабана, переходит через разрез.

Обечайка 8, выполненная в виде вальцованного из толстолистового металла цилиндра, относится к осесимметричным цилиндрическим конструкциям. Витки трения и канат для испытаний укладывается между малой 6 и большой ребордами 7, приваренных к обечайке.

Машины с разрезным барабаном оснащаются двумя тормозами с тормозными колодками 3, тормозные поля 4 расположены с наружных сторон заклиненной и переставной частей барабана и являются их продолжением. Эти участки оболочек опираются на лобовины 16, симметрично ослабленные

круговыми отверстиями, усиленные набором ребер 17, косынок 13, которые приварены к лобовинам и к внутренней поверхности обечайки соответственно. Лобовины в верхней части привариваются непрерывными сварными швами к участку оболочек, в нижней, при помощи болтов, крепятся к опорным ступицам 5 вала 9. Вал опирается на сферические роликовые подшипники 10.

Для увеличения жесткости при транспортировке и монтаже барабана лобовины соединяются между собой швеллерами 18.

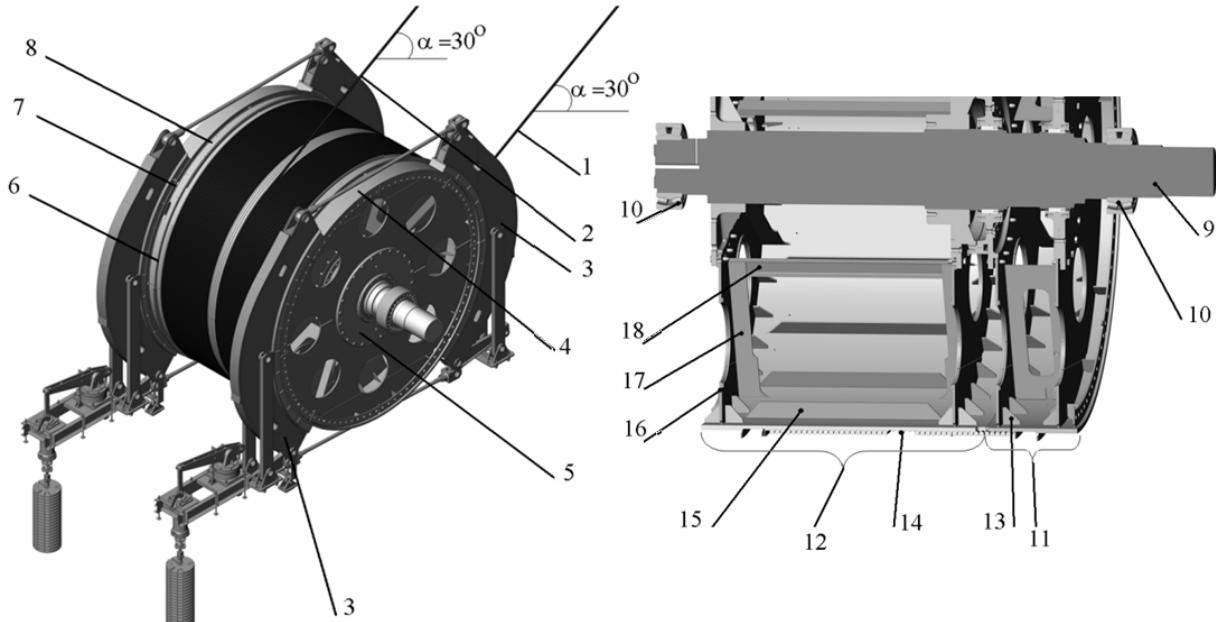


Рис.1. Твердотельная модель барабана ШПМ

Под действием усилий от веса наматываемого каната и веса подъемного сосуда с грузом или без него во время вращения барабана происходит деформирование обечайки. В каждый момент времени при работе верхняя часть обечайки испытывает сжимающие нагрузки и прогибается. В то же время противоположная часть обечайки растянута. Таким образом, обечайка с лобовинами и валом изгибаются как балка. Под действием знакопеременных нагрузок обечайка совершает колебания, что приводит к усталостным трещинам в местах соединений обечайки с лобовинами.

ЗАО «НКМЗ» предлагает дополнительно оснастить барабан продольными ребрами (стрингерами) 15 для повышения продольной жесткости. Стрингеры установлены на внутренней поверхности обечайки с равномерным круговым шагом, параллельно оси вращения вала барабана, при этом, они не соприкасаются с лобовинами, а на каждом конце стрингера выполнен плавный криволинейный переход его высоты к внутренней поверхности обечайки.

Тормоз машины с поступательно перемещающимися колодками и грузовым пневматическим тормозным приводом выполняет функции рабочего и предохраниительного торможения; рабочее – пневматическое, предохраниительное – пневмогрузовое. При работе подъемной машины усилия от двух тормозных приводов действуют на тормоза совместно, а в момент выключения механизма перестановки – раздельно.

Нагрузки от тормозных колодок на тормозные поля обечайки: тормозной момент и горизонтальная прижимная сила.

Исходные данные: $S_t = 270$ кН – разность статических натяжений канатов; $k_1 = 2$ – количество тормозных колодок на одном тормозе; $f = 0,3$ – коэффициент трения; $R_t = 2990$ мм – радиус тормозного поля; $b_t = 400$ мм – ширина тормозного поля; $\beta_1 = 38^\circ$, $\beta_2 = 142^\circ$ – углы от вертикали до начала и конца тормозной балки соответственно при угле обхвата $\alpha = 104^\circ$; β – текущий угол, который изменяется от β_1 до β_2 ; $p = 607,95$ кПа – максимально возможное давление воздуха в рабочем пневмоцилиндре; $z = 3,889$ – передаточное отношение тормоза при рабочем торможении; $\eta = 0,9$ – КПД тормоза; $d_t = 500$ мм – диаметр рабочего цилиндра.

Рассчитаем нагрузки на обечайку при предохранительном торможении.
Из правил безопасности тормозной момент на барабане

$$M_m = 3 \cdot S_m \cdot R_m.$$

Распределенное радиальное давление на тормозной обод

$$p_n = p_{0n} \cdot \sin\beta,$$

где p_{0n} – максимальное горизонтальное давление на тормозной обод при предохранительном торможении.

Распределенная по дуге сила трения

$$\tau_n(\beta) = p_{0n} \cdot \sin\beta \cdot f \cdot b_m.$$

Распределенный по дуге момент

$$m_n(\beta) = p_{0n} \cdot \sin\beta \cdot f \cdot R_m \cdot b_m.$$

Момент на одной колодке

$$M_n = \int_{\beta_1}^{\beta_2} p_{0n} \cdot \sin\beta \cdot f \cdot R_m^2 \cdot b_m \, d\beta = \frac{3 \cdot S_m \cdot R_m}{2 \cdot k_1},$$

Отсюда максимальное давление на обод от одной тормозной колодки

$$p_{0n} = \frac{3 \cdot S_m}{(\cos\beta_1 - \cos\beta_2) \cdot f \cdot R_m \cdot b_m \cdot 2 \cdot k_1}.$$

Горизонтальная сила на обод при предохранительном торможении

$$N_n = \int_{\beta_1}^{\beta_2} p_{0n} \cdot R_m \cdot b_m \, d\beta = p_{0n} \cdot b_m \cdot R_m \cdot \alpha.$$

При предохранительном торможении максимальная горизонтальная сила, действующая на обод от одной тормозной колодки, составила 777,4 кН, тормозной момент на одной колодке равен 605,5 кН·м.

Рассчитаем нагрузки на обечайку при рабочем торможении.

Горизонтальная сила на обод при рабочем торможении от рабочего пневмоцилиндра

$$N_p = \frac{\pi \cdot d_m^2 \cdot p \cdot \eta \cdot z}{4 \cdot k_1},$$

с другой стороны она равна

$$N_p = p_{0,p} \cdot b_m \cdot R_m \cdot \alpha.$$

Максимальное давление на тормозной обод при рабочем торможении

$$p_{0,p} = \frac{\pi \cdot d_m^2 \cdot p \cdot \eta \cdot z}{4 \cdot k_1 \cdot b_m \cdot R_m \cdot \alpha}.$$

Распределенное радиальное давление на тормозной обод

$$p_p = p_{0,p} \cdot \sin\beta.$$

Распределенная по дуге сила трения

$$\tau_p(\beta) = p_{0,p} \cdot \sin\beta \cdot f \cdot b_m.$$

Распределенный по дуге момент

$$m_p(\beta) = p_{0,p} \cdot \sin\beta \cdot f \cdot R_m \cdot b_m.$$

Момент на одной колодке

$$M_p = \int_{\beta_1}^{\beta_2} p_{0,p} \cdot \sin\beta \cdot f \cdot R_m^2 \cdot b_m \, d\beta = p_{0,p} \cdot (\cos\beta_1 - \cos\beta_2) \cdot f \cdot R_m^2 \cdot b_m.$$

При рабочем торможении максимальная горизонтальная сила, действующая на обод от одной тормозной колодки, составила 208,9 кН, тормозной момент на одной колодке равен 162,7 кН·м.

Для исследования в Simulation в твердотельной модели разделены под углами 104° линиями разъема поля для задания нагрузок (момента и горизонтальной силы).

Для исследования взаимодействия наматываемого и сматываемого канатов с барабаном рассмотрим гладкий длинный барабан с двумя лобовинами, жестко закрепленными в зоне соединения со ступицами. Наружный радиус барабана равен радиусу обечайки со срезанными гребешками. Исследуем две модели, ограничиваясь изображений симметрии половиной барабана.

Контактная модель взаимодействия (рис.2) содержит предположения:

- канат в виде криволинейного стержня, состоящего из круговой и прямолинейной части с прямоугольным поперечным сечением, площадь которого равна площади поперечного сечения реального каната (для моделирования малой изгибной жесткости соотношение ширины к высоте каната выбрано 20:1, модуль упругости стержня равен $1 \cdot 10^{11}$ Па);
- на торец прямолинейной части каната действует сила 400 кН;
- контактные условия (на дуге с углом 45°, отстоящего на 180° от точки набегания условие "связанные" и на дуге с углом 180° условие "нет проникновения").

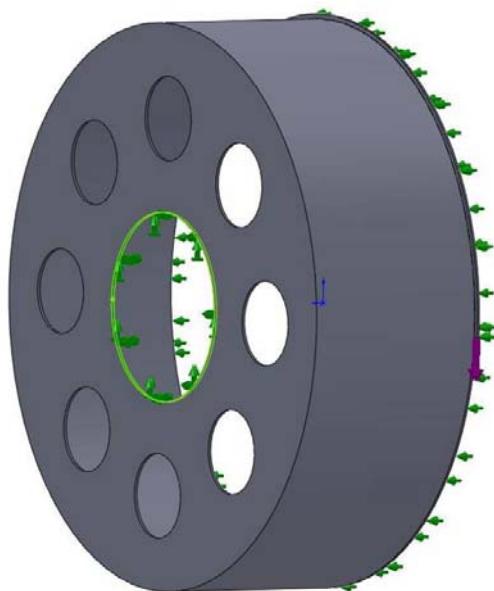


Рис.2. Твердотельная модель и расчетная схема контактной модели взаимодействия

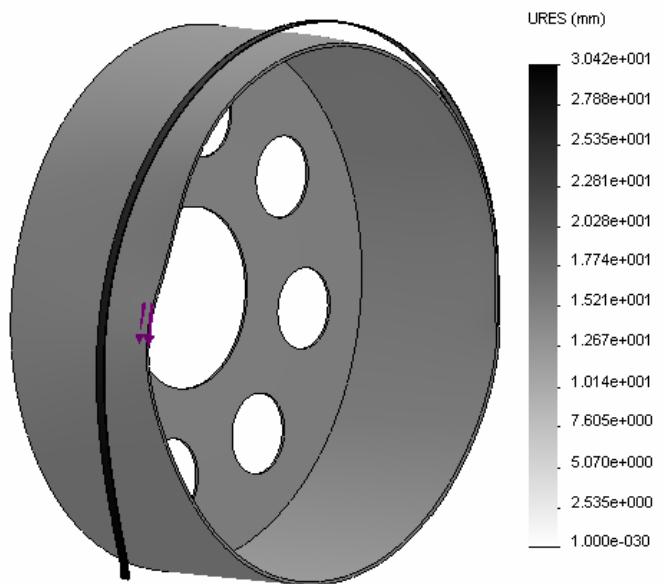


Рис.3. Перемещения обечайки и каната

Из рис.3 видно, что канат отходит от обечайки. Для проверки достоверности этого явления определены контактные давления (рис.4). Из рисунка следует, что на всех участках канат прилегает к обечайке и между ними возникают ненулевые контактные давления.

График радиального перемещения кромки обечайки при контактной модели взаимодействия в безразмерных координатах приведен на рис.5.

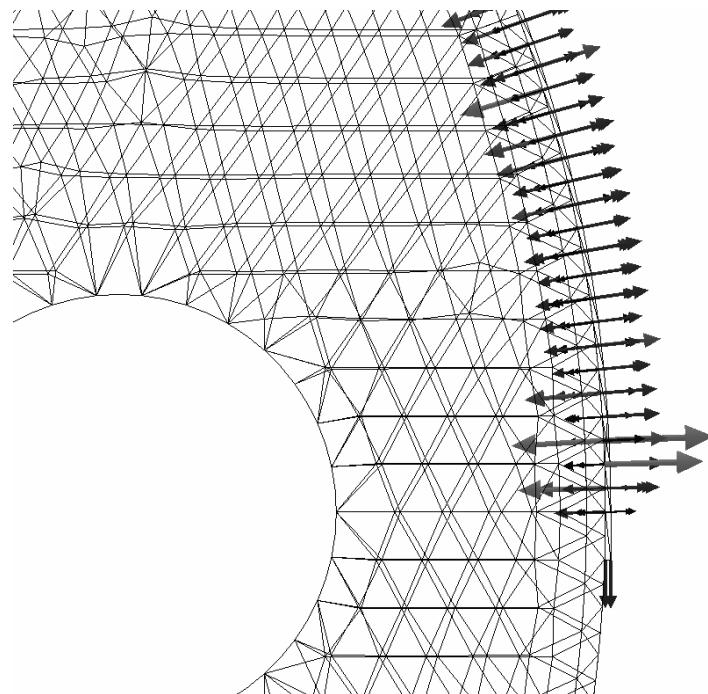


Рис.4. Векторное представление контактных напряжений

Имя исследования: Линейная задача
Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение4

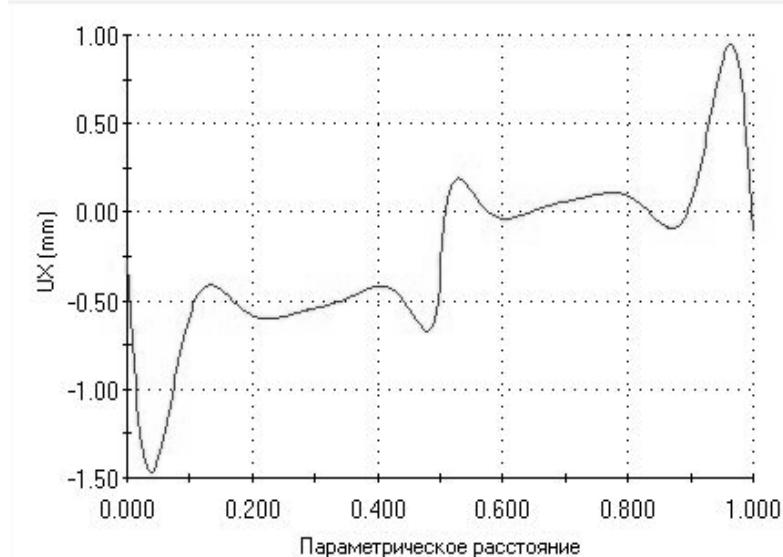


Рис.5. Радиальное перемещение кромки обечайки при контактной модели взаимодействия

Расчет вышеприведенной контактной задачи занимает 5 часов (SolidWorks 2010 SP4.0, Intel(R) Core(TM) i7 CPU 920 @ 2.67GHz, 11.9 GB of RAM). Для исследования возможности уменьшения времени расчета применена модель силового взаимодействия (рис.6), которая предполагает, что на участок обечайки, образованный дугой 60° и шириной равный ширине каната, задана распределенная вертикальная сила 400 кН.

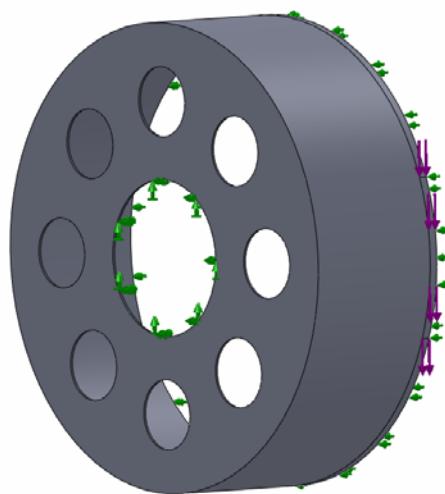


Рис.6. Твердотельная модель и расчетная схема модели силового взаимодействия каната с барабаном

Исследовано влияние угла для образования дуги для силовой модели, рассматривались модели с углами дуги 40° , 60° (рис.7) и 80° . Выяснилось, что чем меньше размер области приложения силы, тем выше амплитуда впадины и

выпуклости. При области с углом 40° по сравнению с контактной моделью амплитуды выпуклости завышена и занижена для впадины, а при угле 80° занижены амплитуды и выпуклости, и впадины.

Имя исследования: Исследование 1
Тип эпюры: Статическое перемещение Перемещение2

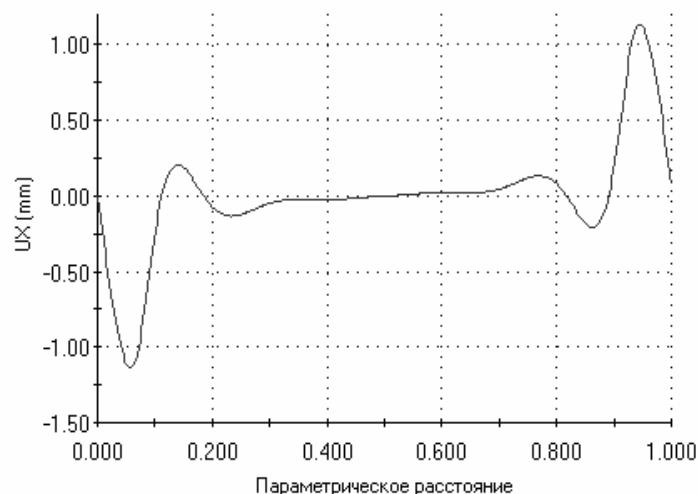


Рис.7. Радиальное перемещение кромки обечайки при модели силового взаимодействия с дугой 60°

В результате исследования влияния размеров области приложения нагрузки на форму обечайки установлено, что оптимальным является угол в 60° , завышение амплитуды выпуклости составляет 22%, занижение амплитуды впадины – 24%.

Из сравнения формы деформированного барабана по контактной модели (рис.5) и упрощенной модели (рис.7) следует, что в контактной модели в зоне перехода от связанных поверхностей к таковым без проникновения образуется концентратор напряжений типа "вершина трещины", что приводит к образованию выпуклости и впадины в окрестности угла 180° . Подобный эффект в окрестности угла 0° производит концентратор напряжений типа "вершина трещины" (в зоне набегания каната на барабан) в контактной и сила в упрощенной моделях.

Определены эквивалентные напряжения (рис.11,12) и установлено, что использование модели силового взаимодействия наматываемого и сматываемого канатов с барабаном по сравнению с контактной занижает значение эквивалентных напряжений на 11%.

В расчете необходимо учесть вес намотанного каната, так как стрингеры предназначены для уменьшения прогиба обечайки барабана. Предложено моделировать канат твердым телом с жесткостью, равной жесткости резины, было принято создать сборку из двух деталей: барабан и модель "каната" под нарезкой (внутри барабана) (рис.13). Тело сложной формы (выполнены вырезы, повторяющие контур стрингеров, с зазором в 1 мм в теле каната, находящегося между лобовинами, а также второе тело каната, находящееся между лобовиной и переставной частью барабана), т.к. не должно быть интерференции двух деталей.

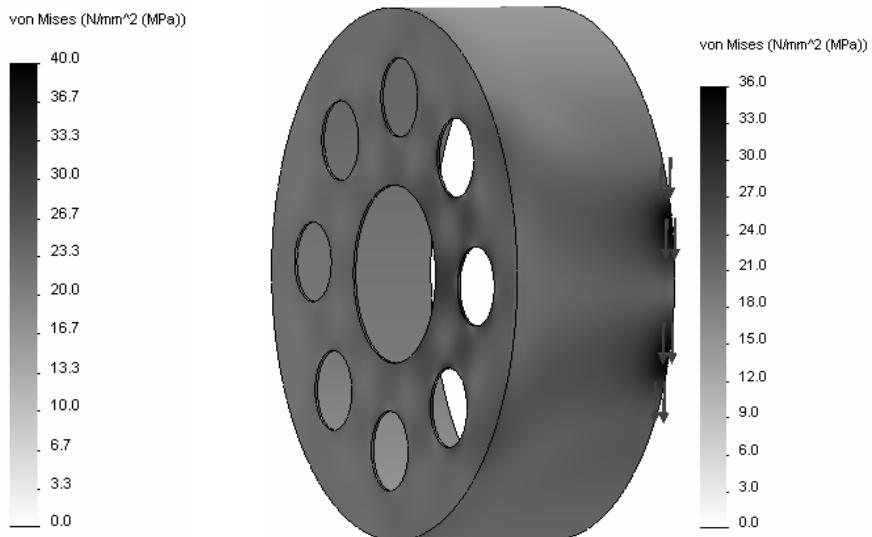
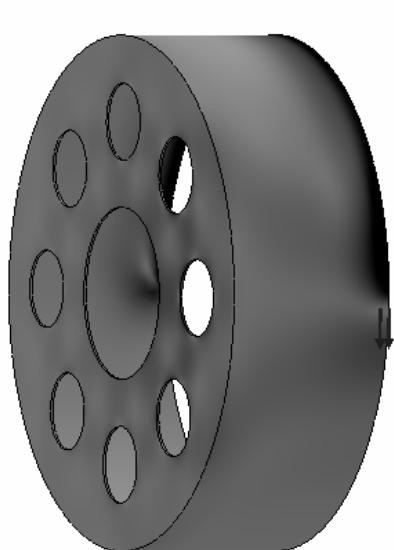


Рис.11. Эквивалентные напряжения обечайки при контактной модели взаимодействия

Рис.12. Эквивалентные напряжения обечайки при модели силового взаимодействия с дугой 60°

Плотность тела каната равна весу отвесной и намотанной частей каната деленной на объем этого тела.

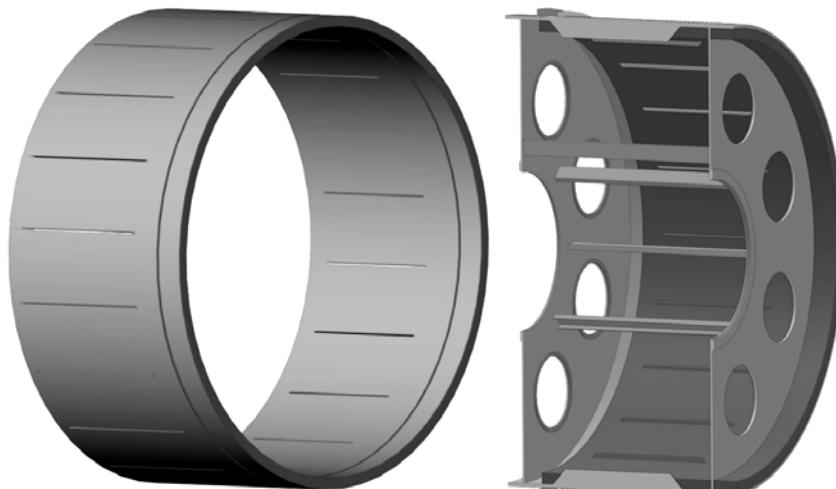


Рис.13. Твердое тело, моделирующее канат

Рассмотрены три основных случая нагружения (начало, середина и конец подъема груженого скипа).

Модель несимметричного нагружения (рис.14) включает в себя:

- твердотельную модель сборки заклиненной и переставной частей барабана, твердого тела, моделирующего намотанный канат, вала и твердых тел, моделирующих подшипники;
- модель тормозной нагрузки барабана (распределенные момент 1 и горизонтальную силу 2, приложенные к ободу от тормозной колодки, при предохранительном и рабочем торможении);
- модель силового взаимодействия наматываемого 3 и сматываемого 4 канатов с барабаном;
- собственный вес 5.

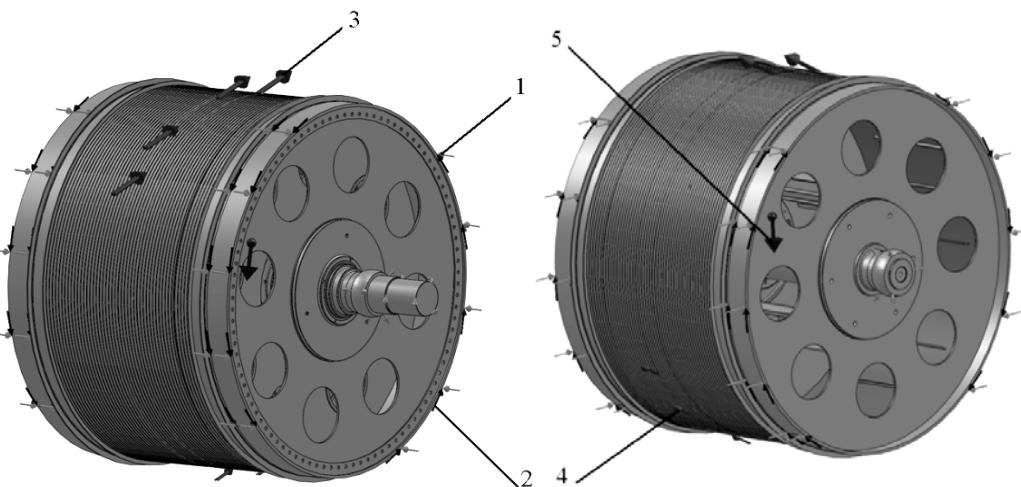


Рис.14. Нагрузки на барабан

Выводы

1. Компьютерная модель тормозной нагрузки барабана должна содержать распределенные момент и горизонтальную силу, приложенные к ободу от тормозной колодки при предохранительном и рабочем торможении.
2. Использование модели силового взаимодействия наматываемого и сматываемого канатов с барабаном по сравнению с контактной снижает значение эквивалентных напряжений на 11%.
3. Неучет собственного веса намотанного каната дает погрешность 13%.

Список литературы

1. Давыдов Б.Л. Расчет и конструирование шахтных подъемных машин. – М.: Углехиздат, 1949. – 299 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Франчуком В.П.
Надійшла до редакції 01.11.10*

УДК 622.271

© Б.Ю. Собко, О.В. Зберовський, В.В. Марченко

РОЗРОБКА СИСТЕМИ ДИСТАНЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПРОДУКТИВНОСТІ РОТОРНИХ ЕКСКАВАТОРІВ

Робота присвячена питанням розробки технічних та технологічних рішень створення системи дистанційного контролю продуктивності роторних екскаваторів. Наведені структура основних блоків, алгоритм роботи та експериментальні дані впровадження системи дистанційного контролю продуктивності роторних екскаваторів.

Работа посвящена вопросам разработки технических и технологических решений создания системы дистанционного контроля производительности роторных экскаваторов. Приведены структура основных блоков, алгоритм работы и экспериментальные данные внедрения системы дистанционного контроля производительности роторных экскаваторов.

Work is devoted the questions of development of technical and technological decisions of creation of the controlled from distance checking of the productivity of rotor power-shovels system. Resulted structure of basic blocks, algorithm of work and these experimental introductions of the controlled from distance checking of the productivity of rotor power-shovels system.

Загальна характеристика геологічної будови пластових, розсипних, вугільних, марганцеворудних і нерудних родовищ осадового типу представлена товщою м'яких розкривних порід. Ці особливості геологічної будови зазначених типів родовищ впливають на вибір відповідних технологій їх розробки й, насамперед, на вибір технологічних схем виробництва розкривних робіт (питома вага їх у загальному обсязі гірничих робіт досягає 70-80%) з застосуванням високопродуктивного устаткування безперервної дії (роторних екскаваторів, стрічкових конвеєрів, відвалоутворювачів).

Однієї із характерних рис розробки як розсипних (глибокозалігаючих, пластових), так і вугільних, марганцеворудних і нерудних пологих родовищ України в наш час є порівняно низька ефективність використання роторних комплексів. Фактична продуктивність роторних комплексів на кар'єрах Вільногірського ГМК менше нормативної на 45-50 %, що пояснюється не тільки фізичним спрацюванням устаткування (до 80 %), але й за рахунок причин, пов'язаних з гірничо-геологічними умовами залягання й особливостями розробки розсипних родовищ із відносно великою потужністю розкриву (40-60 м) і шару корисної копалини (8-15 м). При невеликій ширині покладу й, відповідно, невеликій довжині фронту гірничих робіт (600-800 м) відбувається істотне зниження продуктивності розкривних комплексів устаткування безперервної дії через збільшення числа урізок роторного екскаватора в нову заходку й числа пересувок стрічкових конвеєрів. Це підтверджується досвідом роботи кар'єрів Вільногірського ГМК [1].

Продуктивність роторних екскаваторів впливає на показники роботи всього гірничого комплексу, тому контроль за продуктивністю роботи роторних екскаваторів є важливою інформацією для інженерно-технічної та диспетчерської служб гірничого підприємства при організації гірничо-видобувних робіт та прийнятті управлінських рішень. Таким чином, розробка системи дистанційного контролю продуктивності роторних екскаваторів є актуальним та своєчасним завданням.

Система продуктивності роторних екскаваторів була розроблена та впроваджена на розкривних комплексах кар'єрів Вільногірського ГМК – ТК-2 (екскаватор КУ-800) і НКМЗ (екскаватор ЕРШР – 1600 - 40/7) .

Система дистанційного контролю продуктивності екскаваторів призначена для передачі інформації про обсяг гірської маси, що видобувається екскаватором. Система містить у собі апаратне забезпечення (мобільний GPRS термінал, інтерфейсний перетворювач) і програмне забезпечення. Мобільні термінали є інтелектуальними пристроями, містять у собі GPRS і GPS модулі. Термінали призначені для безперервного оперативного контролю місця розташування, стану мобільних об'єктів і їх вантажів. На роторному екскаваторі термінали виконують функцію щохвилинної передачі показань електронних ваг Berthold LB442, які вбудовані на стрічковому конвеєрі екскаватора, по каналу GPRS Internet на сервер системи.

Термінали мають два слоти під Sim-Карти – для зменшення витрат на зв'язок у роумінзі й збільшення надійності зв'язку, 2 аналогових входи для підключення аналогових датчиків, 4 цифрових виходи для підключення виконавчих пристройів.



Рис. 1. Загальний вид мобільних терміналів ND GPS Terminal 031

GPS/GPRS термінала ND GPS Terminal використовує канали зв'язку GSM/GPRS і SMS. Використовуються активні роздільні антени GSM і GPS. Напруга живлення: 7...48 В. Середня споживана потужність: до 1 Вт. Вбудовані порти RS232TTL і RS485. RS485 дозволяє підключити до 256 периферійних пристройів (у тому числі акселерометри, датчики тиску, контролю робочої температури обладнання тощо). Термінал має два слоти під Sim-Картки, які автоматично перемикаються при відсутності GSM зв'язки з оператором.

Мобільні термінали встановлюються в кабіні машиніста екскаватора й підключаються до ланцюга живлення 8-48 В. GSM антена встановлюється на склі вікна кабіни. Час передачі синхронізується із часом GPS супутників тому GPS антена встановлюється на даху кабіни машиніста для забезпечення прямої видимості супутників. Ваги Berthold настроєні на передачу даних 1 раз у хвилину. Інтерфейсний перетворювач отримує пакет даних від Ваг Berthold та передає на сервер мобільних терміналів по каналу GPRS Internet.

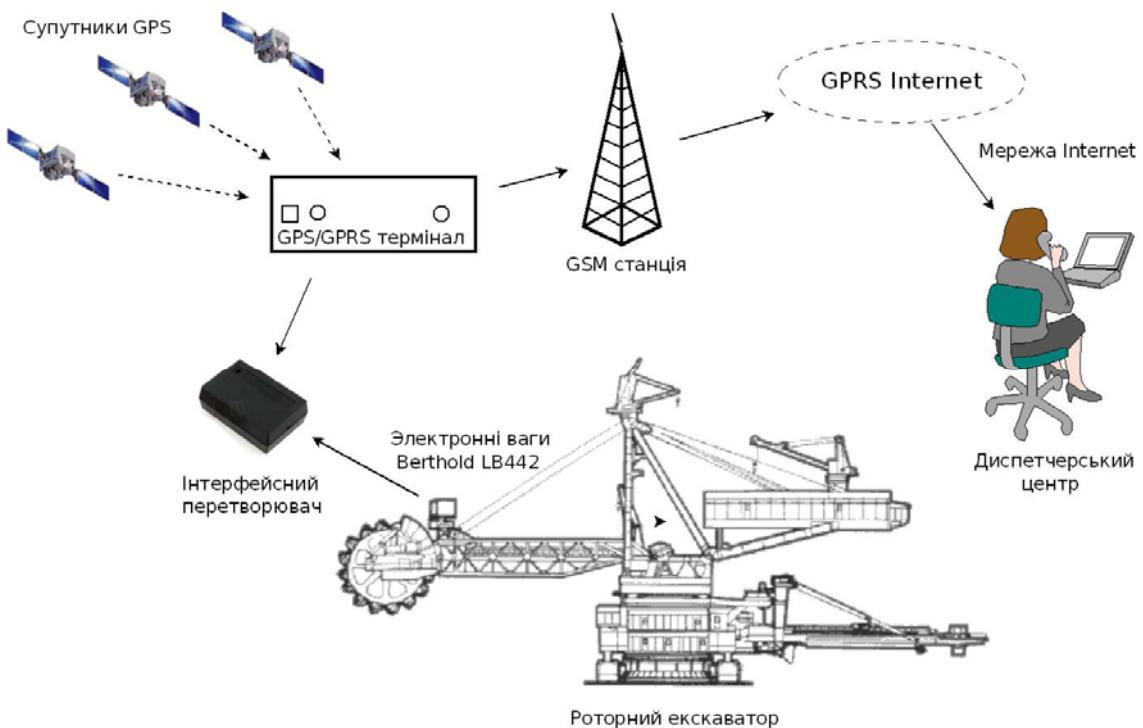


Рис. 2. Принципова структурна схема роботи системи дистанційного контролю продуктивності роторних екскаваторів

У пакет переданих терміналом даних входить наступна інформація:

- номер пристрою;
- дата/час визначення поточних координат;
- кількість виявлених супутників: 0-12;

- вхідна напруга вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП). На

АЦП подається результируча напруга з виходу інтерфейсного перетворювача.

Інтерфейсний перетворювач являє собою інтелектуальний пристрій на базі мікроконтролера Atmel Atmega8. Він підключається до цифрового виходу ваг RS-232. При запуску мікроконтролер ініціалізується, і очікує приймання даних по порту RS-232 від ваг. При прийманні буфера даних, мікроконтролер розшифрує переданий рядок і виставляє вихідну напругу цифро-аналоговому перетворювачу (ЦАП) у відповідності зі значенням маси, переданої вагами. Вихід ЦАП перетворювача з'єднаний із входом АЦП мобільного термінала, а інтерфейсний перетворювач ініціює передачу мобільним терміналом серверу даних про продуктивність. Алгоритм роботи інтерфейсного перетворювача представлено на рис. 3.

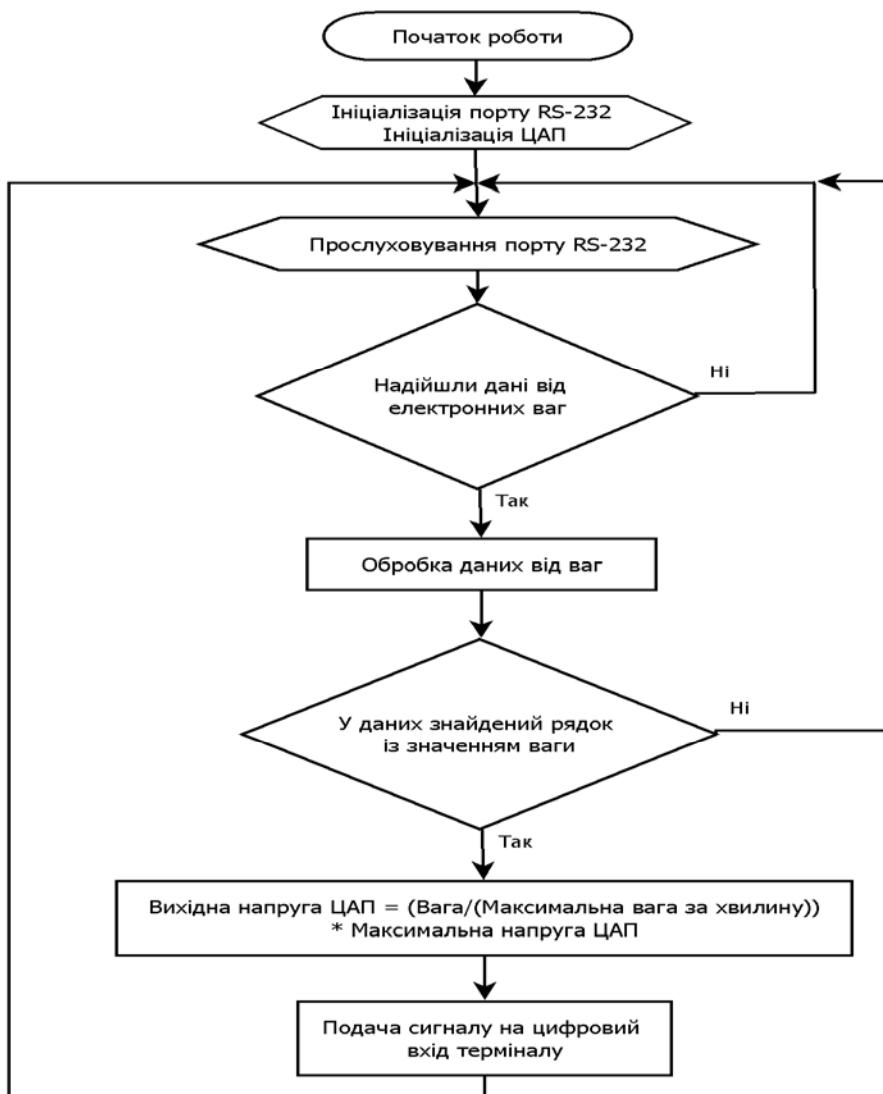


Рис. 3. Алгоритм роботи інтерфейсного перетворювача

До складу програмного забезпечення входить сервер системи й програма контролю продуктивності «Продуктивність роторних екскаваторів».

Сервер системи призначений для прийняття підключених мобільних терміналів, установленіх у кабінах машиністів екскаваторів, по каналу GPRS Internet і одержання від них значень продуктивності екскаваторів а також запис їх у базу даних системи. Для роботи системи використовується база даних «Interbase».

Сервер системи являє собою службу для операційної системи Windows XP написану в системі розробки Embarcadero Delphi 2010. Для роботи сервера з базою даних використовується сервер баз даних Interbase.

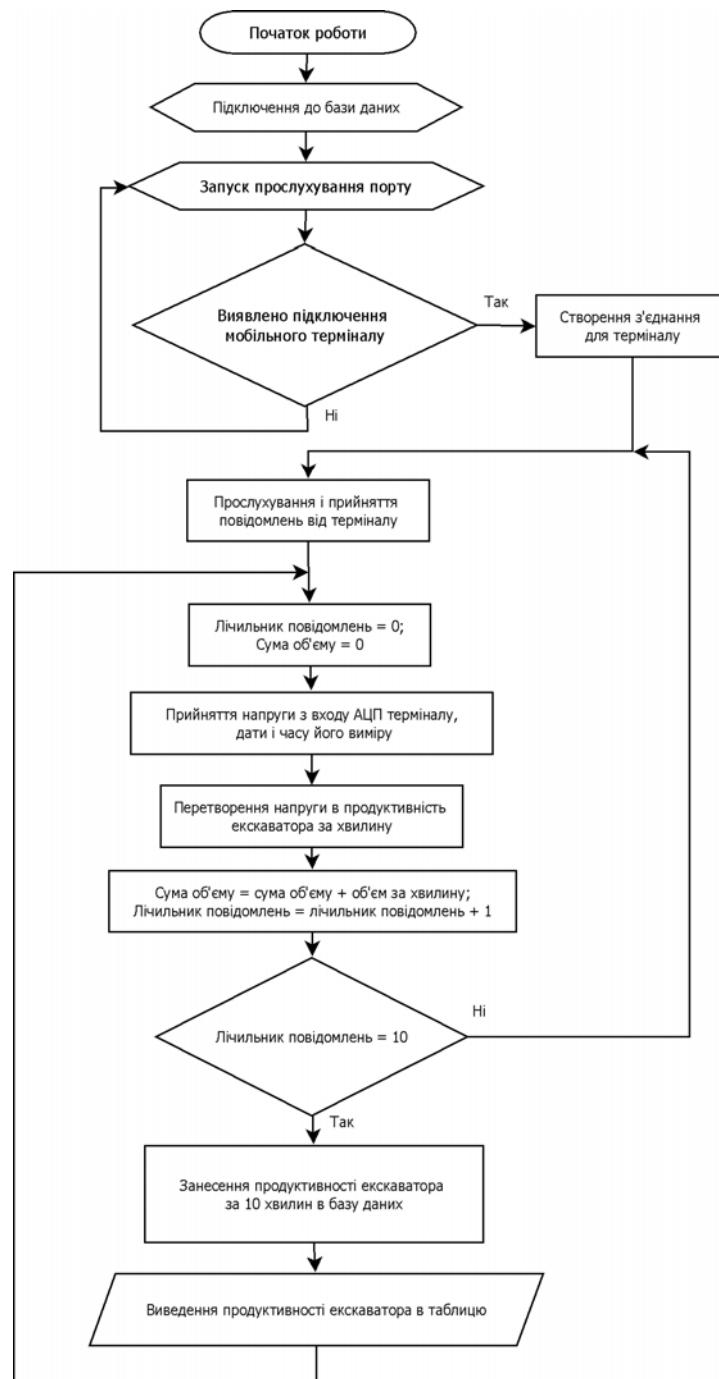


Рис.4. Схема алгоритму роботи системи

Сервер створює один слухаючий потік Winsock для прийняття підключень. При приєднанні мобільного термінала, сервер створює паралельний потік Winsock і починає ухвалювати інформаційні повідомлення мобільного терміналу. Отримані значення часу із всесвітнього координованого часу UTC перетворюються сервером у локальний час. Вхідна напруга АЦП мобільного терміналу перетворюється сервером у продуктивність екскаватора, після чого сервер записує продуктивність і час у базу даних. Програма «Продуктивність роторних екскаваторів» призначена для контролю поточної продуктивності роторних екскаваторів і відображення, даних за певний проміжок часу. Програма написана в системі розробки Embarcadero Delphi 2010. Програма передбачає угруппування табличних даних обсягу видобуваємої гірської породи за зміну, добу, місяць, рік, а також дозволяє будувати графіки продуктивності за зазначеній місяць. Програма дозволяє експортувати табличні дані в Excel, а також друкування таблиць і графіків.

Головне вікно монітору розділене на 2 підвікна (рис. 5): дані по роторному екскаватору ЕРШР-1600 (ліворуч) і дані по екскаватору КU-800 (праворуч). Під табличними даними розміщені графіки продуктивності роторних екскаваторів, які будуються по архівних записах з бази даних.

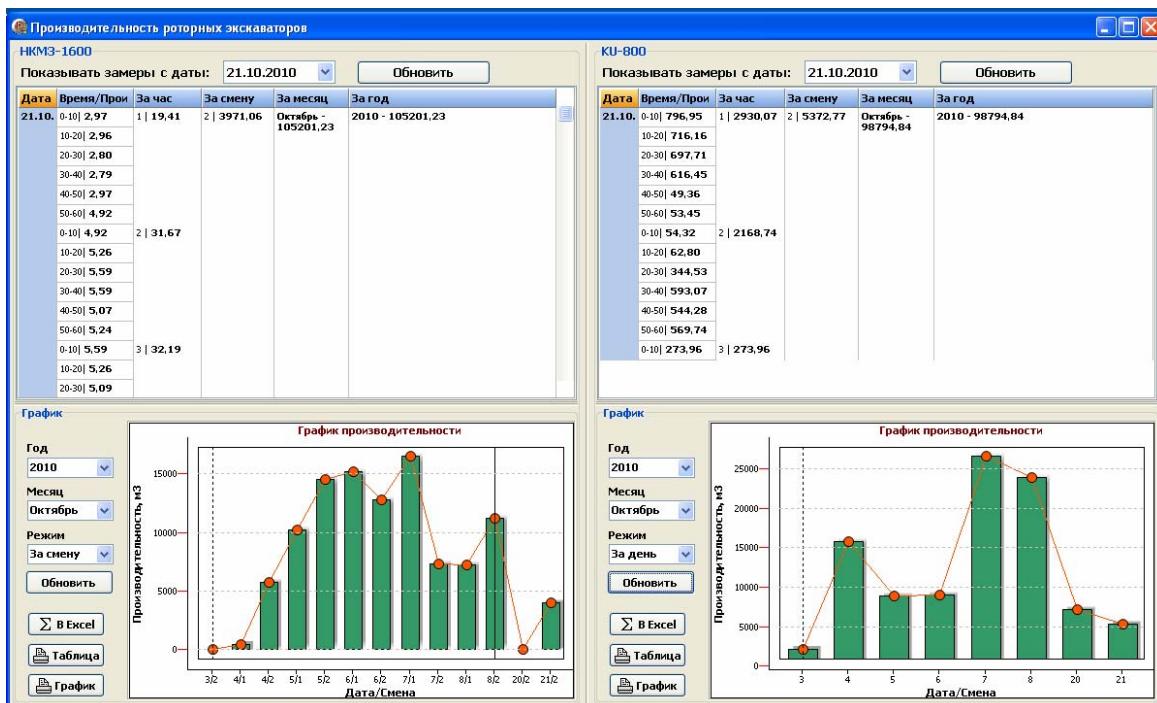


Рис. 5. Загальний вигляд головного вікна програми на моніторі

При запуску програма завантажує таблиці продуктивності екскаваторів за поточну добу. Після запуску програма починає з періодом 5 секунд зчитувати значення продуктивності з бази даних, і відображати їх у таблиці продуктивності.

Програма реалізує наступні функції:

- з'єднання з базою даних системи;
- відображення даних про продуктивність екскаваторів у вигляді таблиць;

- відображення даних про продуктивність екскаваторів у вигляді графіка щомісячно;
- експорт таблиці продуктивності в Excel;
- друкування даних в вигляді таблиць та графіків продуктивності для кожного екскаватора.

Висновки

1. Розроблена система дистанційного контролю продуктивності роторних екскаваторів забезпечує можливість в реальному режимі часу отримувати дані продуктивності екскаваторів, здійснювати контроль за роботою роторних екскаваторів, оперативно керувати вантажопотоками в відповідності з вимогами технології проведення розкривних робіт в кар'єрах, відображати дані про продуктивність екскаваторів у вигляді таблиць та графіків.

2. Система дозволяє підвищити коефіцієнт використання роторних комплексів за рахунок мінімізації витрат робочого часу по організаційним причинам, забезпечує отримання достовірної інформації за підсумками звітних періодів, оптимальне планування обсягів видобувних робіт.

Список літератури

1. Собко Б.Ю. Особливості відкритої розробки розсипних родовищ України //Науковий вісник НГУ.- Дніпропетровськ: РВК НГУ.- 2009.- №4. – С. 13 - 16.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В.І.
Надійшла до редакції 11.10.10*

УДК 622.831.312: 622.817.4

© Ю.Р. Иконников, Е.А. Слащева, М.Ю. Иконников

ВЛИЯНИЕ ПОСАДОК ОСНОВНОЙ КРОВЛИ НА ВСПЛЕСКИ ВЫДЕЛЕНИЯ МЕТАНА В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ

В статье приведены результаты аналитических и шахтных исследований распространения зон дезинтеграции пород и определения параметров выделения метана в подготовительные выработки при посадках основной кровли.

В статті приведені результати аналітичних і шахтних досліджень поширення зон дезінтеграції порід і визначення параметрів виділення метану в підготовчі виробки при посадках основної покрівлі.

The results of analytical and mine studies proliferation zones of disintegration rocks and determining the parameters of methane emission in mine working of the main roof caving.

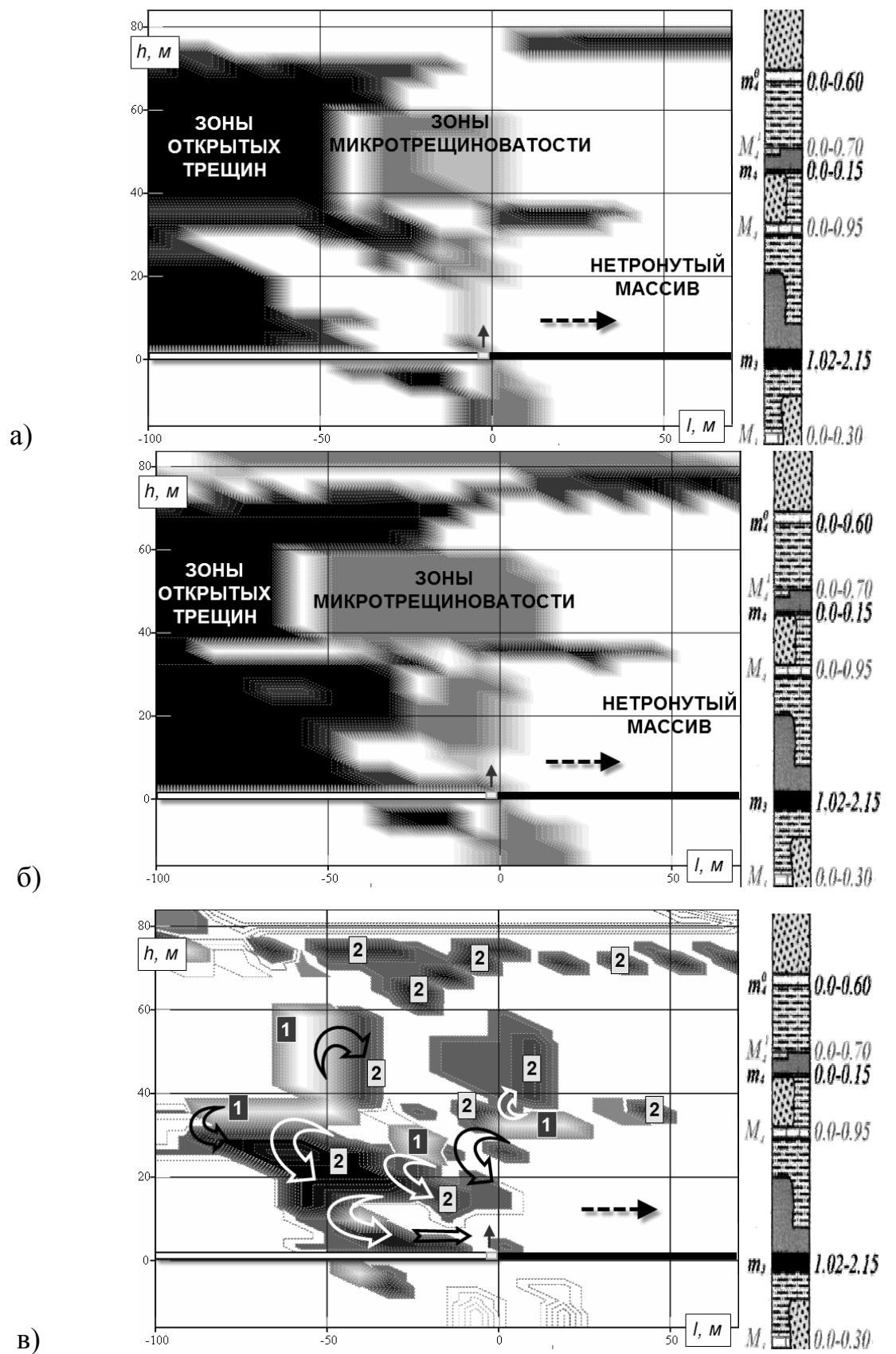
Посадка основной кровли на выемочных участках угольных шахт связана с опасностью внезапных проявлений горного давления и активацией аэрогазодинамических процессов в горных выработках. Нередко этот процесс приводит к жесткой посадке гидравлической крепи механизированных очистных забоев, внезапным обрушениям непосредственной кровли, отжиму угля от забоя,

разрушению крепей подготовительных выработок, загазированию лав и другим негативным последствиям. Посадка основной кровли происходит циклически и изменяется в зависимости от горно-геологических условий отработки конкретного угольного пласта от десятков до нескольких сотен метров. На практике, чтобы выбрать те или иные способы управления горным давлением, как правило, пытаются спрогнозировать шаг посадки основной кровли и ориентируются на поведение породного массива в лавах-аналогах, работавших в похожих условиях. Однако если таким способом и можно ориентировочно определить шаг посадки основной кровли (часто ошибочно), то предугадать последствия данного процесса представляется весьма проблематичным. В частности, посадка основной кровли на опасных по газу шахтах приводит к «выдавливанию» метана из выработанного пространства в атмосферу горных выработок и остановке лав по газовому фактору на одни и более суток. Тем не менее, даже ориентировочный прогноз объемов выделяемого метана и параметров процесса аэrogазодинамического всплеска его содержания в атмосфере горных выработок не проводится. Это связано, прежде всего, со сложностью прогноза разрушений породного массива при посадке основной кровли и параметров процесса возмущений метаносодержащего воздушного потока в горных выработках. Решение данной проблемы весьма актуально, имеет научное и практическое значение для повышения безопасности труда горняков.

Определение влияния посадок основной кровли на всплески выделения метана в горные выработки невозможно без качественной и количественной оценки геомеханического состояния породного массива до и после посадки основной кровли, а также фиксации изменений между первым и вторым состоянием массива горных пород. Сложность поставленной задачи в ее многофакторности, неоднородности породного массива, учете параметров технологии разработки угольного пласта, необходимости использования упругопластической модели с разупрочнением за пределом прочности, которая наиболее адекватно описывает деформирование пород. Решение такой задачи, при влиянии других выработок и наличии неоднородности, а также многосвязности рассматриваемой области можно получить с помощью численных методов решения задач механики горных пород. Наиболее эффективными из них являются метод конечных элементов (МКЭ) совмещенный с методом начальных напряжений. На базе этих методов создан вычислительный комплекс «ГЕО-РС» ИГТМ НАН Украины, который использовался для расчетов. Оценка напряженно-деформированного состояния газонасыщенного массива горных пород выполнена на примере пласта m_3 шахты им. А.Ф. Засядько по методике, изложенной в [1].

Исследования по определению параметров зон разрушения в области влияния очистных работ при посадке основной кровли состояли в определении главных нормальных и касательных напряжений, расположения и величины зон неупругих деформаций, ориентации систем магистральных трещин. Зная зональность разрушений, появляется возможность качественно учесть газовый фактор, определить направление движения газовых потоков.

На рис. 1 представлены результаты расчетов развития разрушений в породном массиве при посадке основной кровли с фиксацией изменения состояния пород в процессе деформирования.



□ – упругие зоны; ■ – зоны микротрещин; ■ – зоны открытых трещин

Рис. 1. Развитие разрушений в породном массиве при посадке основной кровли: а, б – до и после посадки основной кровли, соответственно; в – развитие разрушенных зон и перемещения свободного метана

Расчеты показали, что после посадки основной кровли наблюдается увеличение зоны микротрециноватости более чем в 2 раза, происходит значительное увеличение зон открытых трещин над выработанным пространством. При посадке основной кровли происходит дальнейшее разрушение верхнего газонасыщенного песчаника над угольным пластом и соединение этой зоны разрушения с нарушенным массивом над выработанным пространством. Это приводит к всплеску поступления метана, аккумулирующегося во втором газоносном слое песчаника основной кровли, через выработанное пространство в выработки. Разрушаются слои аргиллитов и алевролитов, которые являются газоэкранирующими слоями и препятствовали фильтрации газа между газоносными песчаниками и выработками, в связи с чем, открываются новые каналы миграции метана в шахту. В разрушенные аргиллиты, расположенные над первым газонасыщенным песчаником, поступает и аккумулируется метан из зоны песчаника, подверженного опорному давлению лавы. В целом, посадка основной кровли приводит к резкому скачку содержания метана в шахтной атмосфере. Уменьшить амплитуду всплеска метановыделения позволяет предварительная дегазация газоносных источников скважинами, схему установки которых необходимо корректировать с учетом геомеханических исследований.

Дебит метана из выработанного пространства в горные выработки определяется многими факторами, в том числе объемом зон обрушения и развитием систем магистральных трещин [2]. На величину и длительность всплеска содержания метана влияет изменившаяся депрессия, которая способствует более интенсивному вымыванию метана из выработанного пространства [3]. Однако постоянная подача завышенного количества воздуха, рассчитанного на максимально возможное газовыделение на участках, экономически нецелесообразна и во многих случаях технически неосуществима. Анализ характера поведения вентиляционного потока при посадке основной кровли позволяет выявить возможные пути оперативного управления проветриванием с целью создания безопасных условий труда горнорабочих и обеспечения экономичности проветривания. Для этого необходимо знать характер переходных процессов, возникающих в результате возмущений воздушного потока.

Расход воздуха на выемочном участке, в свою очередь, характеризуется рядом факторов, к которым относятся инерционные свойства воздушного потока. Они отражают факт рассеяния энергии на преодоление аэродинамического сопротивления, а также ее накопление, обусловленное инерционностью и сжимаемостью воздушной среды. Мерой инерционности последней является акустическая масса, а упругие свойства воздушного потока учитываются акустической гибкостью. Инерционные свойства воздушного потока приводят к тому, что давление газа, распространяясь со скоростью звука от источника возмущения и опережая переходной процесс по воздуху, приводит к всплеску содержания метана в зоне очистного забоя и подготовительных выработках.

Инерционные свойства вентиляционной сети можно определить непосредственными измерениями на конкретных объектах. Для их определения достаточно установить характер изменения давления и дебита воздуха во времени. Для решения этого вопроса, оценивая специфику аэрогазодинамических процессов и инерционных свойств призабойного пространства, с одной стороны, и

специфику аэrogазодинамических процессов и инерционных свойств выработанного пространства, с другой, необходимо получить зависимость относительного всплеска содержания метана от длины вентиляционного штрека. На выемочных участках регистрируется изменение давления, расходы воздуха и концентрации метана во времени после скачкообразного возмущения.

В результате экспериментальных исследований газовой динамики выемочных участков в условиях 2-ой и 3-ей западных лав пласта l_4 АП «Шахта им. А. Ф. Засядько» установлено, что скачкообразное изменение сопротивления движению вентиляционной струи приводит к изменению давления на сопряжении лав со штреками до 200 Па в течение 1-2 с. На некоторых участках этот процесс приводит до четырехкратного увеличения дебита метана, и соответственно, к всплескам его содержания в исходящих струях участков.

Анализ результатов экспериментов показал, что скорость изменения дебита воздуха на сопряжении лавы с вентиляционным штремом и на выходе из участка различна. Переходной процесс по воздуху на участке начинается со сдвигом на промежуток времени, равный длительности переходного процесса по давлению между источником возмущения и точкой определения переходного процесса по воздуху.

Возникновение всплеска концентрации метана в исходящей струе участка связано с активным участием газовыделения из выработанных пространств, куда, в свою очередь, газ поступает из близлежащих пластов-спутников и газоносных пород. Увеличение подачи воздуха на участок сопровождается увеличением дебита утечек, движущихся сквозь выработанное пространство. Под влиянием возросшей депрессии утечки более интенсивно «промывают» выработанное пространство, в результате чего на вентиляционный штрем выносится дополнительное количество газа, вызывая всплески дебита и концентрации метана.

На параметры всплеска, величину и длительность также влияет и увеличившаяся депрессия, способствующая более интенсивному отсосу метана из выработанного пространства, каналов и трещин по которым он фильтруется из спутников. Следствием резкого увеличения дебита утечек является повышение степени турбулизации струек воздуха внутри выработанного пространства, что приводит к более интенсивному перемешиванию и выносу газа.

Для исследования характера изменения величины всплеска концентрации метана от акустических свойств заключенного в выработках добычного участка объема воздуха, произведен расчет газодинамических параметров на математической модели [3] для условий 3 западной лавы пласта l_4 (рис. 2). На основе обработки этих результатов получена качественная характеристика влияния акустических параметров воздушного потока на величину всплеска содержания метана. Установлена зависимость относительной величины всплеска содержания метана от расстояния до источника возмущения воздушного потока, учитывающая его акустические свойства, которая описывается зависимостью

$$W = 1,18 \cdot \exp(-0,07L_{ump}) . \quad (1)$$

где L_{ump} – длина штрека.

Анализ зависимости показал, что при системе разработки обратным ходом столбами длиной порядка 2000 м, величина всплеска содержания метана может возрасти до 30 % при одном и том же возмущающем факторе. Установлено, что амплитудное значение концентрации метана при переходном аэрогазодинамическом процессе в горной выработке прямо пропорционально зависит от инерционных параметров газовоздушного потока и обратно пропорционально от длины выработки (рис. 3). Результаты проверки аналитических зависимостей на шахте подтвердили их достоверность, сходимость расчетных и экспериментальных параметров аэрогазодинамических процессов на добывном участке.

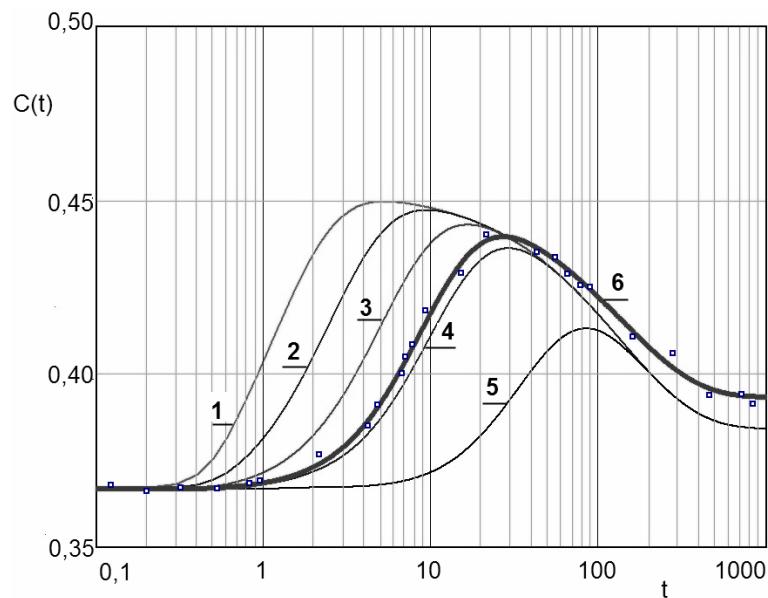


Рис. 2. Зависимость относительной величины всплеска содержания метана от длины вентиляционного штрека: 1-5 – данные математического моделирования при длине вентиляционного штрека 50 м, 100 м, 200 м, 400 м и 1500 м соответственно; 6 – по данным шахтного эксперимента (длина штрека 200 м).

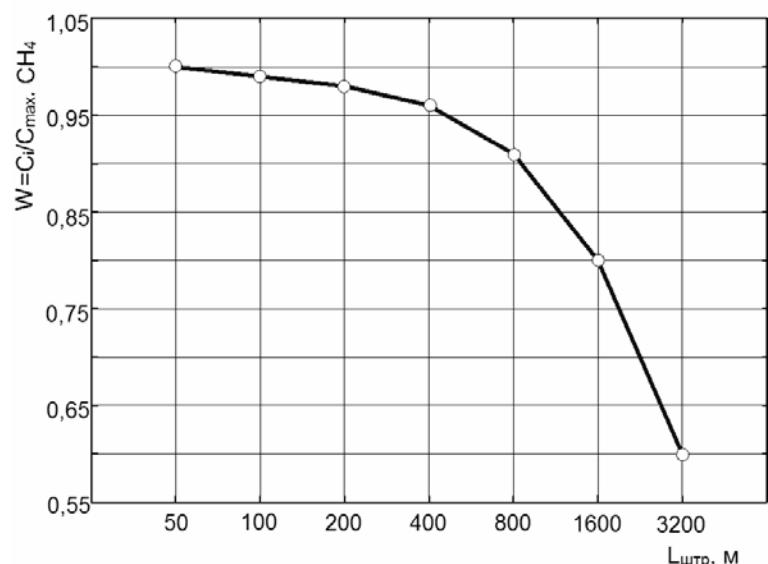


Рис. 3. Зависимость относительной величины всплеска концентрации метана от длины вентиляционного штрека

Таким образом, проведенные экспериментальные и аналитические исследования позволили: определить влияние напряженно-деформированного состояния газонасыщенного массива при посадках основной кровли на направления движения и интенсивность выделения метана в подготовительные выработки глубокой угольной шахты; установить зависимость величины всплеска содержания метана на выемочном участке от расстояния до источника возмущения воздушного потока, учитывающую его акустические свойства. Это позволяет прогнозировать величину всплеска концентрации метана при посадке основной кровли и определять качественные характеристики необходимого проветривания выемочных участков.

Список литературы

1. Экспериментально-аналитический метод прогноза направлений и интенсивности газовых потоков [Текст] / А. Ф. Булат, С. А. Курносов, И. Н. Слащев и др. // Геотехническая механика. – Днепропетровск : ИГТМ НАНУ, 2005. – Вып. 59. – С. 10-21.
2. Слащев И. Н. Моделирование трещиноватости как основа прогноза газового режима добычных участков глубоких шахт [Текст] / И. Н. Слащев, М. Ю. Иконников // Сб. науч. трудов НГУ. – Днепропетровск : РВК НГУ, 2008. – № 31. – С. 236-245.
3. Шаруда В. Г. Математическая модель управления проветриванием добычного участка угольной шахты [Текст] / В. Г. Шаруда, М. Ю. Иконников // Сб. науч. тр. НГУ. – Днепропетровск: РИК НГУ, 2007. – № 28. – С. 143-149.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 02.10.10*

УДК 519.688 : 004.896

© В.В. Слєсарєв, Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа, О.Д. Станіна

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗКРОЮВАННЯ ПРОДУКЦІЇ ПРОКАТНОГО ВИРОБНИЦТВА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ПОШУКУ ІЗ ЗАБОРONAMI

Работа является изложением примера использования метода поиска с запретами (Tabu Search) для раскюя сортового передельного и готового проката. Приведены показатели эффективности использования данного метода в сравнении с традиционными евристиками. Также рассмотрены различные настройки TS и их влияние на качество оптимизации.

Робота є викладенням прикладу використання методу пошуку із заборонами (Tabu search) для розкроювання сортового передільного та готового прокату. Наведені показники ефективності застосування даного методу в порівнянні із традиційними евристиками. Також розглянуті порівняння різноманітних налаштувань TS та їх вплив на якість оптимізації.

This paper is devoted to the case of applying the search method with prohibitions (Tabu search) for cutting out the sectional iron and finished rolled stock. This method performance indicators as compared with traditional heuristics are given. The comparison of various settings, TS and their impact on quality optimization is also considered.

Постановка проблеми дослідження. Питання про те, як слід розкроювати матеріал, що поступає у вигляді смуг, довжина яких коливається в деяких межах, досить важливе з точки зору ресурсо- та енергозбереження. Від того, наскільки оптимальним буде розкроювання, напряму залежать дві ключові характеристики виробництва – витратний коефіцієнт та собівартість продукції. Наявність неоптимальних довжин матеріалу або надмірних залишків призводить до замовлення додаткового матеріалу, на виготовлення якого використовується час, робота працівників, а найголовніше – енергія. Особливо гостро ця проблема стоять у металургійному виробництві, де розкроюється готова продукція чи передільна заготовка, на виготовлення якої йде велика кількість енергії, а невикористаний матеріал відправляється назад у переплавку.

Змога раціонально планувати розкроювання матеріалу з використанням не тільки мірних, а й так званих “торгових” довжин дозволяє іноді зменшити загальні витрати матеріалу протягом багатоетапного виробничого процесу. Раціональним також вбачається виконання кількох замовлень одночасно, якщо такі є – адже розкроювання на кілька мірних довжин є менш жорсткою умовою, ніж розкроювання з однією постійною довжиною. [1, ст. 69]

Намагання планувати лінійне розкроювання нерідко натрапляє на непостійність довжини матеріалу, що надходить [2], тож застосування у такому випадку планів розкрою стає нереальним. Таким чином в більшості випадків дотримуються наступного алгоритму: спочатку вирізають усі найбільші заготовки, потім переходят до менших, намагаючись при цьому використовувати отримані раніше обрізки, й так далі. Цей простий принцип повинен бути замінений іншими, більш продуманими прийомами роботи, використання яких може дати значний ефект [1, ст. 51].

Слід відзначити, що до сьогодні подібна задача в реальних умовах прокатного виробництва вирішується примітивно [3]: складається певний план розкроювання з розрахунку довжини заготівки, що надійде наступною. Якщо процент обрізків (залишків) видається надто великим, намагаються скласти інший план шляхом зміни кількості тих чи інших мірних штанг. В разі, якщо одна-две спроби не призводять до суттєвого покращення, то вважається, що отриманий план задовільний.

Якщо прийняти до уваги, що в реальних виробничих задачах план розкроювання металургійної продукції охоплює два або більше переділи, на кожному з яких існує кілька варіантів довжини, стає зрозумілим, що перегляд навіть двох-трьох варіантів плану становить надскладну задачу для оператора. Тож актуальним є завдання автоматизації побудови карт розкроювання на основі сучасних алгоритмів оптимізації, а також вибору такого алгоритму, який би дозволяв вирішувати задачу оптимізації в реальному масштабі часу для невідомої заздалегідь довжини заготовки.

Мета дослідження – запропонувати алгоритм оптимізації планів розкроювання заготовок на штанги мірної та немірної довжини з метою мінімізації обрізків та кількості немірної продукції, а також порівняння запропонованого алгоритму з існуючими, що використовуються на виробництві.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за темою дослідження. Метою розв'язку задачі розкрою сортового, пруткового прокату, смуг та труб є визначення мінімального розкрою матеріалу (за масою, кількістю залишків чи вартістю готової продукції) на заданий набір (комплект) штанг [1]. Ця задача відноситься до класу ціличисельного програмування. Вперше її сформулював Л.В. Канторович, який розв'язав її методами лінійного програмування. В загальному випадку, задача формулюється наступним чином.

Необхідно із заготовок з довжинами $L_1, L_2, \dots, L_j, \dots, L_m$, що надходять, викроїти штанги довжиною $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ в заданій кількості або співвідношенні p_i , де $i = 1, 2, \dots, n$. Необхідно визначити оптимальний план розкроювання заготовок, тобто отримати мінімальні відходи з урахуванням виконання всього замовлення. Іншим варіантом цієї ж задачі є використання мінімальної кількості заготовок для отримання необхідної кількості штанг потрібного розміру. Показником, що визначає економічність розкроювання, як і всього прокатного виробництва, є витратний коефіцієнт металу (ВКМ), який розраховується за формулою

$$K_{BKM} = \sum_{j=1}^m L_j \Bigg/ \sum_{i=1}^n l_i, \quad (1)$$

де l_i - корисна довжина i -тої штанги, м; L_j - довжина j -тої використаної заготовки, м. [4, ст. 12-17].

Одним з варіантів цільової функції при розкроюванні, таким чином, є мінімізація ВКМ

$$K_{BKM} \rightarrow \min \quad (2)$$

Інший варіант, як було згадано раніше, мінімізація кількості використаних заготовок

$$m \rightarrow \min \quad (3)$$

Як показує подальший аналіз, обидві цільові функції мають одинаковий сенс, втім, їх використання іноді призводить до різних результатів.

Відомі ряд робіт щодо розкроювання матеріалів, в яких використовуються метод індексів Канторовича або симплекс-метод Д. Данцига, а також його модифікації. Ці методи використовують для знаходження оптимального плану розкроювання, коли відомі всі можливі його варіанти. Слід зазначити, що робота зі складання всіх варіантів розкроювання (особливо коли довжина заготовок різиться, а сортамент готової продукції широкий) трудомістка та тривала. В підсумку будеся задача лінійного програмування з великою кількістю невідомих, розв'язок якої на ПК стає досить складним.

Розв'язок задачі розкроювання лінійних матеріалів без складання всіх початкових варіантів з використанням методів динамічного програмування був отриманий П. Гілмором та Р. Гоморі [4]. Ідея даного методу полягає в наступному: після кожного кроку симплекс-методу для з'ясування найефективнішого способу покращення розкрою методами динамічного програмування розв'язується нескладна допоміжна задача типу “задачі про наплічник”.

Окрім основної умови – мінімізації витрат матеріалу на виготовлення необхідної готової продукції – план розкроювання повинен задовольняти й іншим вимогам, зокрема бути технологічно здійсненим на даному обладнанні й у даному технологічному процесі, а також використовувати наступні правила:

- з одної заготовки, по можливості, викроюються мінімальна кількість різних за довжиною штанг;
- штанги однієї довжини мають виготовлятися з якомога меншої кількості заготовок;
- при розкроюванні кожної заготовки різник має якомога менше разів пере налаштовувати інструмент на нову довжину;
- по можливості застосовувати свій план розкроювання до кожної заготовки в залежності від її довжини та можливих відхилень заготовки від заданих технологічних параметрів.

Кожна зі згаданих умов може бути введена в постановку задачі у вигляді окремої цільової функції меншого значення, ніж головна. Але, оскільки, ці умови мають сенс обмежень, вони надалі враховуються саме як обмеження. В результатуючу цільову функцію вони входитимуть у вигляді штрафних функцій за порушення умови.

Поставлена задача вирішується традиційно одним з методів лінійного програмування в два етапи: на першому визначаються вихідні варіанти розкроювання; на другому – з множини вихідних варіантів знаходять такі, які задовіляють вимогам комплексності та мінімальності кількості матеріалів. Цей набір і вважається оптимальним варіантом розкроювання.

Варіанти створюються шляхом комбінування різноманітних штанг у всіх можливих сполученнях. При такому комбінуванні навіть при незначному збільшенні числа видів штанг характерне швидке зростання числа можливих сполучень, тобто можливих варіантів розкроювання. Це призводить до збільшення розмірності задачі лінійного програмування, і як наслідок до різкого збільшення часу рішення задачі на ЕОМ.

Якщо задачу розкроювання сформувати таким чином, щоб початкові варіанти розкрою в системі рівнянь не були відомі заздалегідь, це відповідає задачі нелінійного ціличисельного програмування. Для вирішення цієї задачі відсутній строгий математичний метод. Одним з способів вирішення такого типу задач є застосування евристичних методів, побудованих на використанні правил, прийомів, спрощень, які узагальнюють минулий досвід працівника [4, ст. 29-47]. На сьогодні широко розповсюдженні так звані мета-евристики, що поєднують у собі кілька евристичних прийомів водночас.

Ф. Гловер [5, 6] запропонував новий підхід, який він назвав пошук із заборонами (Tabu Search). Цей підхід дозволяє за допомогою методів локального пошуку (надалі – LS) подолати локальний оптимум. Основний принцип Tabu Search (надалі – TS) – використання LS, а в разі, коли знайдено локальний оптимум – запобігання циклічного повернення до вже відвіданих рішень за допомогою використання спогадів. Останні, що мають назву списків заборон (Tabu), містять недавню історію пошуку та кращі з найдених раніше рішень. Таким чином, TS – розвиток методів локального пошуку, у якому спогади необхідні для зміни області можливих рішень, тобто області пошуку.

Список заборон використовується для запобігання зациклюванню в околиці локального оптимуму. Списком забороняється на певну кількість ітерацій перехід в точки, які вже були відвідані. Таким чином околиця поточного рішення деформується, охоплюючи все нові області. В результаті рано чи пізно алгоритм локального пошуку знаходить нову область оптимуму, де відбувається пошук рішення.

Стандартні списки заборон зазвичай виглядають як циклічні списки встановленої довжини. Втім фіксована довжина табу не завжди запобігає циклічній роботі, іноді практикується зміна довжини списку заборон під час пошуку. Інше рішення – випадковим чином генерувати розмір масиву в певних межах на кожній ітерації, але використання даної схеми ускладнює запис списку заборон.

У загальному випадку метод TS використовує в якості критерію зупинки настання однієї з умов:

- досягнута певна кількість ітерацій (витрачений певний час роботи процесора) без огляду на якість отриманого рішення;
- виконано певну кількість ітерацій без покращення рішення (цей критерій використовується в більшості реалізацій);
- пошук досягає значення, заздалегідь визначеного за достатнє.

Канонічний TS, блок-схема алгоритму якого представлена на рис. 1, передбачає оцінку рішення для кожного елементу околиці $N(S)$ поточного рішення. Це потребує зазвичай достатньо великого часу обчислень. В якості альтернативи пропонується формувати випадкову вибірку $N'(S) \in N(S)$, значно меншу за повну околицю. Даний підхід, як й інший, заснований на використанні списку кандидатів, дозволяють значно прискорити пошук в околиці, але мають ризик пропуску кращих рішень.

Для покращення роботи алгоритму TS пропонується застосовувати кілька додаткових евристик, зокрема, процедури диверсифікації та інтенсифікації. Процедура диверсифікації, що базується на механізмі так званої довгострокової пам'яті, переміщує пошук в наперед незвідані області пошуку, також має назву “повторний запуск”. Вона генерує рішення, що зовсім не сходе на поточне (чи найбільш розглянуте) і повторно запускає пошук від цього рішення. Нове початкове значення може бути випадковим або ж інверсією поточного рішення.

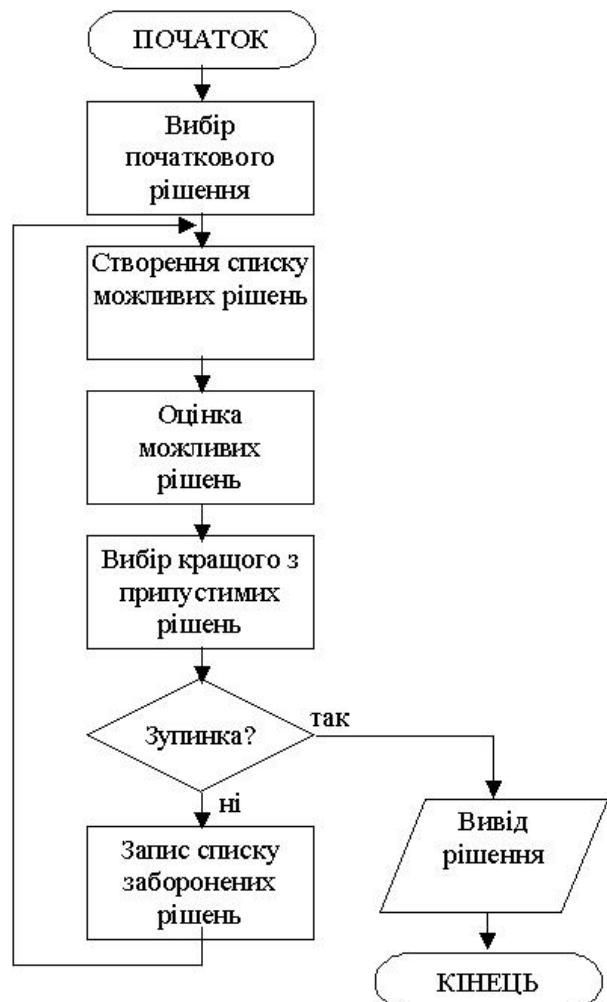


Рисунок 1. Загальний алгоритм Tabu Search

Процедура інтенсифікації натомість – деталізує та поглибує ступінь перевірювання околиці знайденого локального оптимуму з метою якомога більш повного його вивчення.

Основний матеріал та результати досліджень. З огляду на викладені вище умови та обмеження, використовуючи (1) та (2) математична модель задачі набуває вигляду

$$F = \frac{\sum_{j=1}^m L_j}{\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n l_{ij} x_{ij}} + \alpha k_j + \beta w_i \rightarrow \min \quad (4)$$

за умов, що:

$$\sum_j x_{ij} \geq p_i; \quad x_{ij} \geq 0; \quad k_j \geq 0; \quad w_i \geq 0. \quad (5)$$

де x_{ij} - кількість штанг i -того типу довжиною l_{ij} , що розкроюються з j -тої заготовки; L_j - довжина j -тої заготовки; p_i - загальна потреба у штангах i -того типу, необхідна згідно із замовленням; k_j - кількість типів штанг, що виготовляється із j -тої заготовки; w_i - кількість заготовок, що використані для виготовлення штанг i -того типу; α та β - вагові коефіцієнти для вторинних цільових функцій, відповідно мінімуму штанг із однієї заготовки та мінімуму заготовок, що використані для виготовлення одного типу штанг.

Як видно з (4), ключовою цільовою функцією є мінімізація ВКМ, додатковими (вторинними) – технологічні цільові функції. Вагові коефіцієнти останніх можуть варіюватися в широких межах: нульове значення відповідатиме нехтуванню додатковими умовами, а значення близьке до 1 чи більше ставитиме ці умови вище за критерій мінімуму витратного коефіцієнту.

У дослідженні вагові коефіцієнти додаткових умов були прийняті на достатньо низькому рівні, оскільки планування відбувалося не з огляду виконання всього замовлення, а лише для побудови плану розкроювання поточної заготовки. Це обумовлено непередбачуваною довжиною кожної наступної заготовки, що надходить на ділянку для розкроювання.

Тож замість розв'язання глобальної задачі мінімізації ВКМ (4) була розглянута задача побудови оптимального плану розкроювання для кожної окремої заготовки

$$L_j - \sum_i^n l_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (6)$$

де всі позначення співпадають з (4). Природно, що кількість штанг кожного типу, кількість типів штанг та їх довжини є не від'ємними числами, а загальна кількість вирізаних штанг від початку роботи алгоритму не має перевищувати розмір потреби в даному типі згідно із замовленням.

Враховуючи постановку задачі та її обмеження, маємо вектор невідомих, що є невід'ємними цілими з розміром околиці рішення в одиницю. Для рішення задачі застосовуємо наступну версію алгоритму пошуку із заборонами, що використовує короткострокову та довгострокову пам'ять, а також процедуру диверсифікації пошуку

Крок 1. Ініціалізація: вводяться припустимі довжини штанг l_i , потреба у кожному їх виді p_i , а також довжина короткої c_{short} та довгої c_{long} пам'яті. Лічильники циклів скидаються в 0, цільова функція дорівнює ∞ .

Крок 2. Зчитування довжини поточної заготовки L_j .

Крок 3. Генерація припустимого плану розкроювання, відмінного від тих, що зберігаються у короткостроковій пам'яті, який не порушує обмежень.

Крок 4. Оцінка отриманого рішення за цільовою функцією.

Крок 5. Якщо отримане значення гірше за відоме, додати лічильник диверсифікації, повернутися до кроку 3, інакше – крок 6.

Крок 6. Оновити цільову функцію.

Крок 7. Перевірка, чи не можна з обрізку, що залишився вирізати хоч якусь із необхідних штанг, якщо так – процедура інтенсифікації.

Крок 8. Перевірка, чи отримане рішення не зустрічалося протягом кількості циклів довгої пам'яті. Якщо так – процедура диверсифікації.

Крок 9. Перевірка отриманих даних у списку табу (коротка пам'ять), якщо присутні – перехід до кроку 3, інакше – крок 10.

Крок 10. Додати нове рішення до списку заборон

Крок 11. Перевірка умови зупинки алгоритму, якщо не виконується – перехід до кроку 3, якщо виконується – крок 12.

Крок 12. Вибір найкращого плану розкроювання поточної заготовки L_j , вивід його на екран, збереження в пам'яті.

Крок 13. Додавання лічильника розрізаних заготовок $j = j + 1$

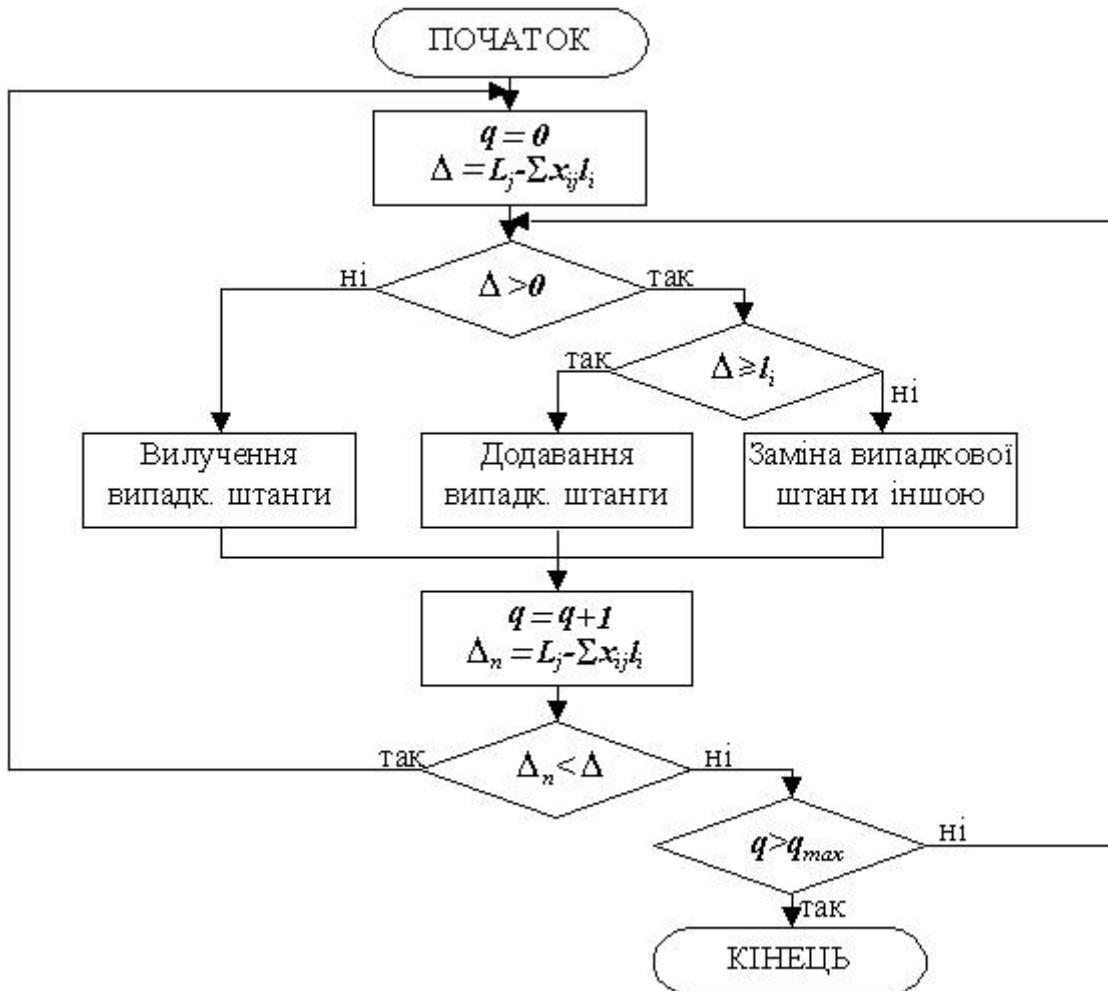
Крок 14. Якщо ще не всі необхідні штанги були вирізані ($\forall p_i > 0$), повернутися до кроку 2. Інакше – крок 15.

Крок 15. Вивід планів розкроювання усіх заготовок, коефіцієнту розходу металу.

Крок 16. Зупинка роботи алгоритму.

В зазначеному алгоритмі (кроки 7 та 8) застосовуються дві процедури – інтенсифікації та диверсифікації, на яких зупинимося докладніше.

Процедура інтенсифікації, блок-схема алгоритму якої наведена на рис. 2, має на меті проведення докладного й достатньо швидкого пошуку в околиці уже наявного рішення з метою його покращення. Певну кількість разів q_{max} змінюється план розкроювання шляхом додавання до нього однієї із штанг, вилучення однієї із штанг або заміни однієї довжини на штангу іншої. Дія обирається в залежності від довжини обрізка Δ за поточним рішенням: якщо він від'ємний, то необхідно якусь із штанг вилучити, якщо додатний – включити до плану. Будь-яка дія збільшує q на 1.



В разі, якщо в ході інтенсифікації було знайдено план розкроювання, який за довжиною обрізку кращий, ніж у початковому плані, він приймається за поточний, лічильник циклів скидається в 0 й інтенсифікацію починають знову. Процедура припиняє свою роботу після q_{\max} невдалих спроб.

Процедура диверсифікації передбачає в разі повторного отримання однакового рішення (плану розкроювання) протягом певної кількості циклів вибору абсолютно нового випадкового наближення і початку пошуку від нього. Фактично процедура диверсифікації запускає наново алгоритм локального пошуку, водночас пам'ятаючи про краще рішення, яке вже було отримане. Довготривала пам'ять організовується шляхом запам'ятовування найкращого для поточної заготовки рішення на достатньо велику (на один-два порядки більшу ніж у короткої пам'яті) кількість циклів. При диверсифікації довготривала пам'ять, на відміну від короткотривалої, не очищується, а лише одгулюється лічильник циклів довготривалої пам'яті.

Викладений алгоритм передбачає кілька налаштувань, які суттєвим чином впливають на час роботи алгоритму та його ефективність. До налаштувань TS слід віднести: довжину короткострокової та довготривалої пам'яті, а також кількість циклів інтенсифікації. На рис. 3 наведено залежності, що дозволяють обрати налаштування цих параметрів для варіанту розкроювання одновимірних заготовок у постановці (4).

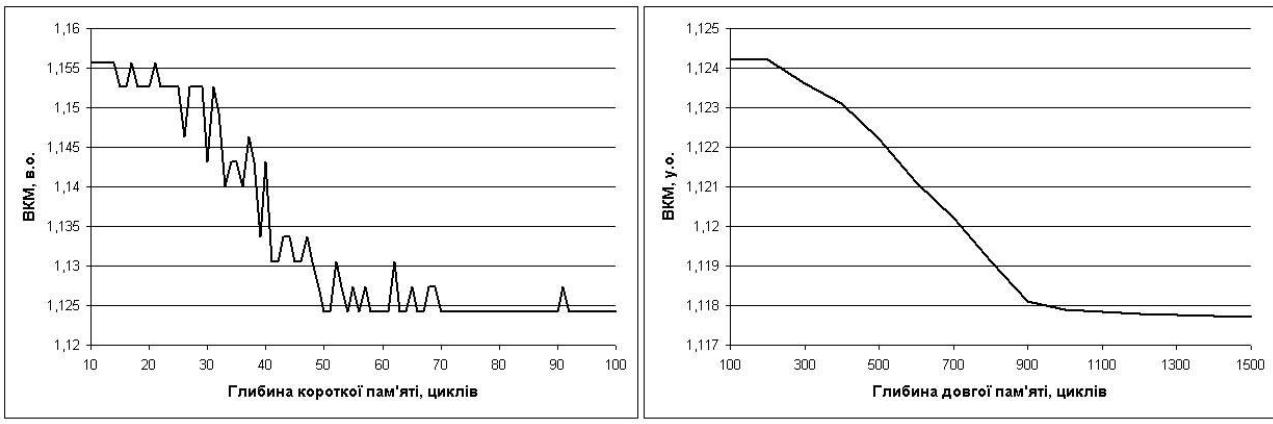


Рисунок 3. Дослідження оптимальних налаштувань глибини пам'яті:
а) короткострокової; б) довготривалої

Залежності, наведені на рис. 3, показують, як змінюється цільова функція (витратний коефіцієнт металу) в залежності від глибини короткострокової та довготривалої пам'яті. На обох графіках – усереднені залежності по 5 запусках вирішення однієї задачі (розкроювання послідовності з 42 заготовок на 3 види мірних штанг).

Залежність на рис. 3 а) дозволяє зробити висновок, що починаючи з 70 циклів короткострокова пам'ять демонструє надійний результат – краще рішення, що повторюється при кожному запуску. При цьому досліджені довгострокова паяють не вирисовувалася.

Залежність на рис. 3 б) підтверджує рекомендації, дані в [6]: довготривала пам'ять має перевищувати за довжиною короткострокову у 8-10 разів. В разі, якщо глибина довгострокової пам'яті перевищує короткострокову незначно (у 2-6 разів) ефект від використання цього механізму майже не відчутний. Водночас при збільшенні глибини довготривалої пам'яті понад 10-12 разів від короткотривалої перестає приносити бажаний результат. Натомість процес починає потребувати значних витрат часу, що за умов обраного об'єкту дослідження неприпустимо.

Загалом слід відзначити, що використання методу Tabu search лише з короткостроковою пам'яттю дозволило знизити витратний коефіцієнт металу на модельному прикладі на 17%, а з використанням довгострокової пам'яті – на 28%.

Метою подальших досліджень запропонованого алгоритму є експериментальна перевірка роботи різних варіантів процедури інтенсифікації, її налаштувань. Також необхідно дослідити роботу алгоритму в цілому при моделюванні розкроювання реальних замовлень на продукцію на об'єкті дослідження.

Висновки. У роботі запропоновано методику побудови й оптимізації планів розкроювання одновимірних прокатних заготовок, який заснований на відомій евристичі пошуку із заборонами. Головними елементами евристики є процедури інтенсифікації та диверсифікації, які дозволяють відповідно знаходити краще рішення в околиці локального оптимуму та змінювати напрямок пошуку в разі за цикловання переходів від одного оптимуму до іншого.

Суть методу пошуку із заборонами полягає в тому, що певна область пошуку, що місти вже знайдений локальний оптимум, забороняється для дослідження. Цей механізм, що має назву короткострокової пам'яті, дозволяє виходити з локальних оптимумів і продовжувати пошук у їх околиці. Інший механізм, що має назву довготривалої пам'яті, запам'ятує краще із усіх знайдених рішень на певну кількість кроків і запускає процедуру диверсифікації, якщо це рішення повторюється.

В ході експериментального дослідження застосування запропонованої методики до розкроювання прокатної продукції в цеху №1 Дніпропетровського металургійного заводу ім. Петровського, було з'ясовано, що глибина короткострокової пам'яті, необхідна для отримання оптимального розкроювання при типовому замовленні, має бути не менше 70 циклів.

Водночас, було показано, що глибина довготривалої пам'яті має бути не менш як у 8-10 разів більша за глибину короткострокової. При менших значеннях ефект використання довготривалої пам'яті майже не відчувається, при більших – супроводжується незначним покращенням результатів та значним збільшенням обсягів обчислень.

Ефективність застосування короткострокової пам'яті для побудови плану розкроювання типового замовлення полягає у зменшенні витратного коефіцієнту металу на величину до 18%, при використанні додатково довготривалої пам'яті – на величину до 28%.

Надалі планується дослідити роботу різних варіантів процедури інтенсифікації та її налаштувань, а також провести ряд експериментів з моделювання розкроювання реальних замовлень на продукцію на об'єкті дослідження з метою визначення можливої ефективності запропонованої методики.

Список літератури

1. Канторович Л. В. Рациональный раскрой промышленных материалов / Канторович Л. В., Залгаллер В. А. Изд. 2-е, испр. и доп. — Новосибирск: Наука, 1971. — 299 с., ил.
2. Желдак Т.А. Оптимальне одновимірне розкроювання матеріалу у прокатному виробництві / Т.А. Желдак , Д.М. Гаранжа // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2009. – № 4. – с. 43-46.
3. Технологическая инструкция по производству блюмов, заготовки и фасонных профилей в прокатном цехе №1 [под ред. Канищева Л.И.] / Днепропетровск: ДМЗ им. Петровского, 1999 – 340 с.
4. Бабаев Ф. В. Оптимальный раскрой материалов с помощью ЭВМ. — М: Машиностроение, 1982. — 168 с., ил.
5. Glover F. “Tabu Search – Part I” : [Електронний ресурс] / ORSA Journal on Computing Vol. 1, No. 3, Summer 1989, pp. 190-206. – Режим доступу <http://joc.journal.informs.org/cgi/content/abstract/1/3/190> .
6. Glover F. “Tabu Search – Part II” : [Електронний ресурс] / ORSA Journal on Computing Vol. 2, No. 1, Winter 1990, pp. 4-32. – Режим доступу <http://joc.journal.informs.org/cgi/content/abstract/2/1/4>.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.
Надійшла до редакції 22.10.10*

ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ЧАСТОТНО-ІМПУЛЬСНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ В ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ

Виходячи із енергетичних показників перетворювача частоти, обґрунтований спосіб регулювання потужності в електротехнології індукційного нагріву з'єднань деталей.

Исходя из энергетических показателей преобразователя частоты, обоснован способ регулирования мощности в электротехнологии индукционного нагрева соединений деталей.

Proceeding from energy indicators of frequency converters the way of power regulation in details connections induction heating electrotechnologies is substantiated.

В електротехнології індукційного нагріву управління температурним полем виробу, що нагрівається, здійснюють шляхом створення необхідних значень параметрів струму в індукторі. Йдеться про силу струму, його частоту, форму. Ці параметри можуть бути стабільними або змінюватись у часі в процесі нагріву. Параметри регулюються джерелами живлення індукційних установок [1]. В якості джерел живлення установок середньочастотного діапазону використовують перетворювачі частоти. В системах індукційного нагріву широко використовують дволанкові напівпровідникові перетворювачі частоти, що містять випрямляч і автономний інвертор. Ці складові містять в своїй структурі напівпровідникові прилади (тиристори, силові транзистори), що працюють у ключових режимах і, відповідно, мають нелінійні вольт-амперні характеристики. Струм, що споживається із мережі живлення, містить вищі гармонічні складові, які знижують енергетичні показники перетворювача частоти. Ступінь викривлення споживаного струму залежить від способу управління перетворювачем. Відомо, що в нерегульованих випрямлячах викривлення струму незначне. При цьому регулювання потужності здійснюється шляхом управління інвертором перетворювача [1].

Стаття присвячена аналізу можливих способів регулювання потужності в одній із технологій індукційного нагріву (демонтаж з'єднань циліндричних поверхонь деталей машин, виконаних посадкою з натягом). Особливості цієї технології нагріву викладено, наприклад, в [2]. В статті обґрунтована доцільність використання одного із розглянутих способів регулювання, виходячи із умови забезпечення високих енергетичних показників перетворювача частоти.

Зміна сили струму в індукторі приводить до зміни рівня вихрових струмів, варіації значень питомої поверхневої потужності, інтенсивності дії джерел тепла, розташованих на поверхні втулки. Якщо силу струму змінювати в процесі нагріву деталі, то така зміна може істотно вплинути на характер нагріву і значною мірою визначити картину температурного поля. Найпростішим способом управління є зміна тривалості протікання струму через індуктор, тобто йдеться про формування пауз струму t_p (рис. 1,б). В інтервалі пауз теплові процеси в тілі, що нагрівається, розвиваються за умови відсутності джерел тепла на його поверхні. Недолік таких систем полягає в необхідності введення в елект-

ричну схему джерела живлення додаткових елементів, що забезпечують комутацію струму індуктора. Зокрема, тут можуть бути використані напівпровідникові ключові пристрой. У більш простому варіанті задача може бути вирішена шляхом вдосконалення системи управління джерела живлення.

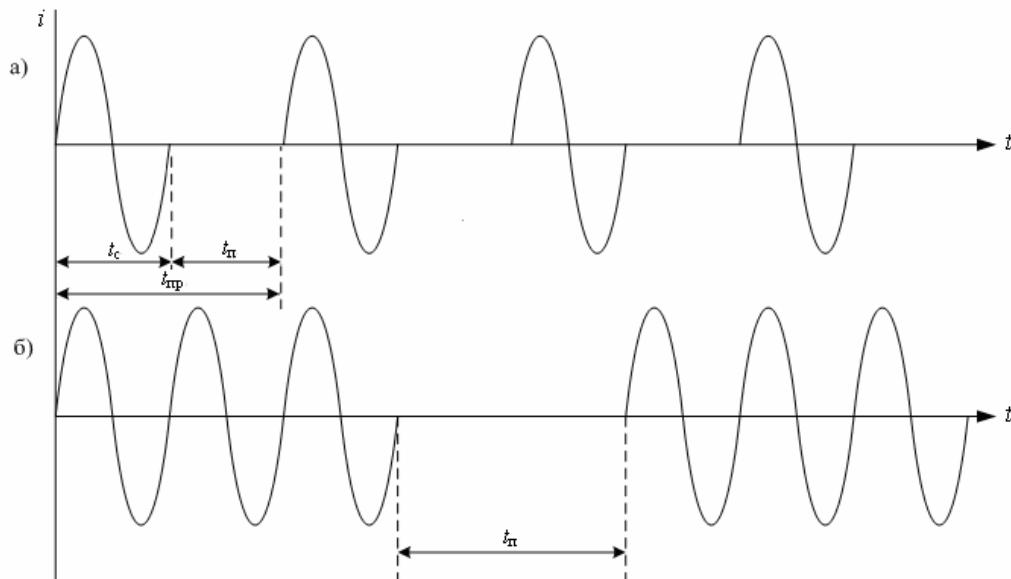


Рис. 1. Частотно-імпульсне (а) і дискретне (б) регулювання струму в індукторі

Інший відомий спосіб управління полягає в безперервному (плавному) регулюванні сили струму в індукторі. Цей спосіб має певні переваги по відношенню до дискретного регулювання, бо при цьому існують можливості для більш точного відтворення необхідної картини температурного поля. Безперервне регулювання струму пов'язане з плавною зміною напруги на індукторі. Це може бути досягнуто шляхом застосування регуляторів змінної напруги, або шляхом використання перетворювачів частоти з такими функціями. В обох випадках має місце ускладнення силової схеми джерела живлення, або алгоритмів його управління, що не завжди достатньо просто реалізується.

Іншим параметром, що має істотний вплив на інтенсивність джерел тепла, діючих у виробі на глибині проникнення вихрових струмів в метал, є частота синусоїdalного струму індуктора. Зміну глибини проникнення струму углиб втулки слід розглядати як зміну положення джерел тепла відносно зовнішньої поверхні виробу. Зміна частоти струму приводить до зміни питомої поверхневої потужності нагріву, пропорційної показнику поглинання енергії. Тому слід чекати, що зміна частоти синусоїdalного струму істотно впливатиме на картину температурного поля втулки, що нагрівається. В практиці індукційного нагріву використовують системи, що забезпечують дискретну зміну частоти синусоїdalного струму [3]. Проте такі системи складні в реалізації, оскільки зміна частоти джерела живлення вимагає зміни резонансної частоти паралельного коливального контуру, створеного індуктором і батареєю компенсуючих конденсаторів. З цієї ж причини практично не використовується безперервне (плавне) регулювання частоти струму. В практиці індукційного нагріву матеріалу використовують також пристрой з імпульсною формою струму індуктора [4,5].

Найбільш просто реалізується синусоїдальна форма імпульсів [4] (рис. 1,а). Це досягається завдяки відмові від використання паралельного коливального контуру в навантаженні перетворювача частоти і переходу до використання послідовного резонансного контуру. Таким чином, йдеться про послідовні резонансні інвертори. Важливо, що регулювання частоти слідування імпульсів струму в індукторі (частотно-імпульсне регулювання) здійснюється простою зміною частоти слідування імпульсів управління, що подаються на силові напівпровідникові прилади. При цьому немає необхідності в зміні параметрів послідовного коливального контуру. При реалізації простого варіанту несиметричного послідовного резонансного інвертора з одним ключовим елементом забезпечується мінімальне число силових елементів в схемі, спрощується його система управління (рис.2). Оскільки існує можливість регулювання потужності нагріву зміною частоти слідування імпульсів синусоїдальної форми, напругу на виході випрямляча такого перетворювача не змінюють і, отже, його енергетичні показники (коефіцієнт потужності, зсуви) залишаються високими.

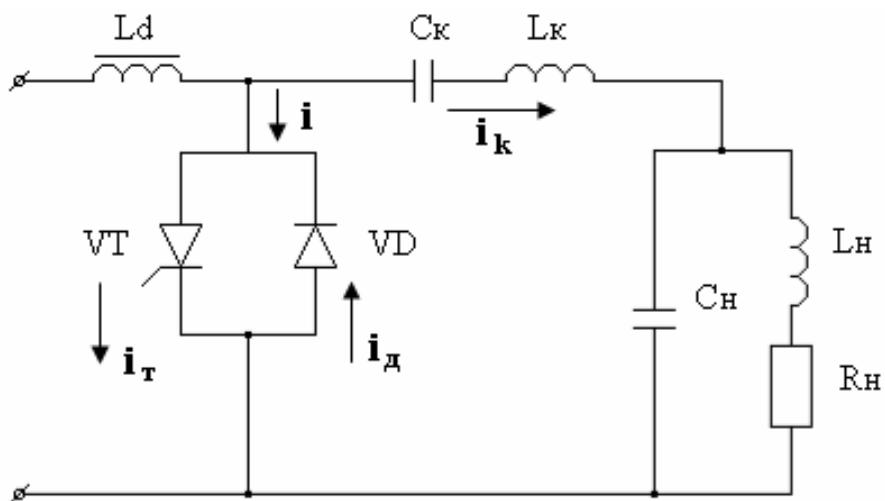


Рис.2. Несиметричний послідовний резонансний інвертор

Навантаження інвертора представлено паралельним коливальним контуром $L_n C_n R_n$. Комутуючі елементи $L_k C_k$ сумісно з контуром $L_n C_n R_n$ складають електричний ланцюг, що зумовлює коливальний процес струму i_k , що протікає через комутуючі елементи. Тиристор VT та зворотний діод VD створюють замкнуте коло для коливального процесу. Реактор L_d слугує для згладжування вхідного струму інвертора. Струм i , що протікає через напівпровідникові елементи, містить дві складові, зумовлені протіканням струму, через тиристор $VT(i_T)$ та діод $VD(i_d)$ ($i = i_T - i_d$):

$$\begin{aligned} i_T &= I_T \sin \omega t & 0 \leq t \leq \pi / \omega; \\ i_d &= I_d \sin(\omega t - \pi) & \pi / \omega \leq t \leq 2\pi / \omega; \\ i_k &= 0 & 2\pi / \omega \leq t \leq 2\pi / \omega_k, \end{aligned} \quad (1)$$

де, I_T, I_d - амплітудні значення струму через тиристор та діод; ω, ω_k - кутові частоти вільних коливань струму в контурі інвертора та слідування імпульсів управління тиристора відповідно.

Амплітудні значення струмів через тиристор та діод відрізняються ($I_T > I_d$). Це зумовлено затуханням коливань в контурі завдяки наявності активного опору R_u .

По своїй суті, формування різнополярних імпульсів струму, що мають форму, близьку до синусоїdalnoї (при частотно-імпульсному регулюванні), мало відрізняється від розглянутого дискретного регулювання струму шляхом формування пауз струму (рис. 1,б).

Відмінність полягає в тому, що число коливальних процесів у варіантах, що зіставляються, може бути різним. Відрізняються також підходи до практичної реалізації вказаних способів регулювання.

Недолік послідовного резонансного інвертора, що не містить паралельного коливального контуру в навантаженні, полягає в збільшенні ступеня завантаження напівпровідникового приладу по струму. Відсутність паралельного коливального контуру призводить до того, що струм, який протікає через індуктор, для більшості схемних рішень рівний струму напівпровідникового приладу. Тому при значних струмах індуктора струми вентилів великі. Проте при цьому існує і позитивний чинник, що полягає в зниженні рівня напруги на напівпровідниковому приладі. Якщо врахувати, що демонтаж циліндричних посадок здійснюється при порівняно невеликих потужностях (одиниці і десятки кВт), то слід чекати, що необхідні значення струму в індукторі досягатимуть рівня сотень ампер, що цілком прийнятно для сучасних напівпровідниковых приладів. Таким чином, вказаний недолік в розглянутих умовах нагріву не є таким важливим і способом управління процесом нагріву, який полягає в зміні частоти слідування імпульсів, представляється з точки зору автора найбільш прийнятним.

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок: управління процесом індукційного нагріву при демонтажі циліндричних з'єднань може здійснюватися шляхом використання традиційних методів зміни параметрів струму індуктора. Цим методам властиві певні переваги і недоліки. При необхідності введення такого управління доцільно орієнтуватися на варіант, що передбачає зміну частоти слідування імпульсів струму.

Розгляд варіанту потребує забезпечення можливості моделювання теплового процесу при імпульсній дії джерел тепла на поверхні втулки.

Такі дослідження виконано в роботі [2]. У процесі регулювання змінюється інтервал пауз струму t_n (рис.1). Це дозволяє змінювати середнє значення питомої поверхневої потужності за період слідування імпульсів $t_{np} = t_c + t_n$. Зрозуміло, що при цьому змінюється загальна (за період t_{np}) інтенсивність дії джерел тепла. Проаналізуємо теплові процеси, що протікають при зміні співвідношення t_c / t_n . Розрахунку підлягає значення різниці температур в зоні з'єднання де-

талей ΔT . Рис. 3 ілюструє таку залежність у випадку, коли на інтервалі t_c значення нагріву залишається незмінним. При цьому частота імпульсного синусоїдального струму $f = 2400$ Гц, а товщина втулки $\Delta_e = 0,015$ м.

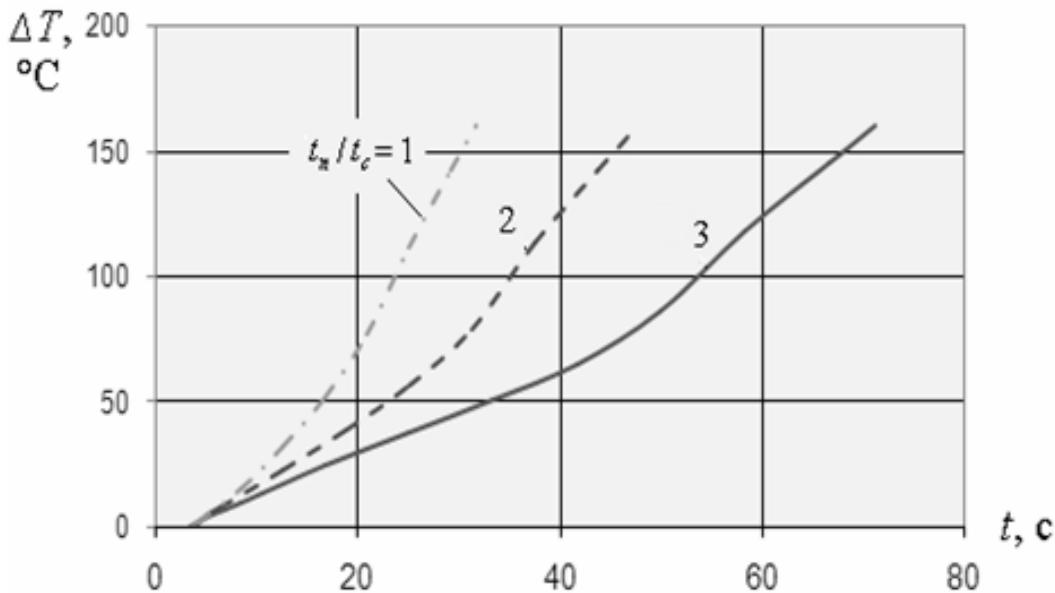


Рис. 3. Залежність $\Delta T(t)$ при імпульсному струмі індуктора

Із рисунка видно, що при підвищенні частоти слідування синусоїдальних імпульсів струму ($f_c = \frac{1}{t_{np}}$) швидкість наростання ΔT збільшується, що свідчить про принципову можливість управління температурним режимом теплового процесу шляхом зміни цієї частоти. Звернемо увагу на те, що зміна f_{np} відбувається виключно за рахунок зміни t_n . Технічна реалізація зміни паузи між синусоїдальними імпульсами струму в перетворювачах частоти не викликає ускладнень.

Список літератури

1. Тиристорные преобразователи высокой частоты / [Е.И. Беркович, Г.В. Ивенский, Ю.С. Иоффе, А.Т. Матчак, В.В. Моргун]. - Л.: Энергия, 1978.
2. Випанасенко Н.С. Математична модель для аналізу теплових процесів індукційного нагрівання циліндричних з'єднань сталевих деталей/ Н.С. Випанасенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. -2009.- Вип. № 2. - С. 60-65.
3. Рыскин С.Е. Применение сквозного индукционного нагрева в промышленности/ Рыскин С.Е. – Л.: Машиностроение, 1979. – 64 с.
4. Выпанасенко С.И. Автономные инверторы с умножением частоты/ С.И. Выпанасенко //Техническая электродинамика. -1992. - № 6.–С. 23-31.
5. Выпанасенко С.И. Автономные инверторы с совмещенными функциями силовых элементов/ С.И. Выпанасенко //Техническая электродинамика. -1993. - № 4.–С. 24-27.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слєсарєв В.В.
Надійшла до редакції 20.10.10*

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАКСИМАЛЬНЫХ ОСЕДАНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ПОДРАБОТКАХ И ВОДОПОНИЖЕНИИ

Выполнена оценка точности прогнозирования максимальных оседаний земной поверхности при подземной разработке Никопольского марганцевого месторождения и проводимом водопонижении. Анализируются результаты инструментальных наблюдений на наблюдательных станциях.

Виконана оцінка точності прогнозування максимальних осідань земної поверхні при підземній розробці та водопониженні на Нікопольському марганцевому родовищі. Аналізуються результати інструментальних спостережень на спостережних станціях.

The estimation of accuracy of forecasting maximal displacement a terrestrial surface is executed at underground mining Nikopol manganese deposit and spent water-downturn. Results of tool supervision at observant stations are analyzed.

При решении практических вопросов, связанных с подработкой различных зданий, сооружений и природных объектов, возникает необходимость проведения расчетов сдвигений и деформаций горных пород и земной поверхности, которые выполняют по известным методикам [1-5].

Известно, что на шахтах Марганецкого ГОКа ведение очистных горных работ осложнено наличием в толще горных пород водоносных горизонтов (как безнапорных, так и напорных). При этом основным источником обводнения горных выработок является нижнесарматский водоносный горизонт. Этот горизонт напорный, – величины напоров, в среднем, составляют от 8 до 15 м и более, представлен мелкозернистыми песками мощностью 3-4 м, местами до 10 м. Горизонт является надрудным, водоносные пески отделены от марганцеворудного пласта глинами мощностью от 5 до 20 м.

Питание горизонта осуществляется на большой площади, выходящей далеко за пределы шахтных полей. Водопритоки из нижнесарматского водоносного горизонта на шахтах колеблются в широких пределах – от 5,5 до 70 м³/ч. Наличие такого количества воды в толще горных пород является значительным препятствием при разработке месторождения. Поэтому с целью предотвращения прорывов воды в горные выработки перед началом ведения очистных горных работ проводится предварительное снижение уровней водоносных горизонтов на участках, намечаемых к разработке выемочных столбов, при помощи восстающих скважин, пробуренных из подготовительных горных выработок.

В существующих методиках расчета важнейшим показателем является величина максимального оседания земной поверхности, от определения которой в значительной степени зависит точность прогнозируемых сдвигений и деформаций.

Известно, что максимальное оседание земной поверхности в условиях водопонижения в плоском дне мульды сдвижения может быть представлено в виде [4]:

$$\eta_{0o} = \eta_{0e} + \eta_{0b} \quad \text{или} \quad \eta_{0o} = q_0 m + \Delta\sigma_e \sum_{i=1}^n k_i h_i ,$$

где η_{0e} – максимальное оседание, вызванное очистными горными работами, м; η_{0b} – максимальное оседание, вызванное водопонижением, м; q_0 – относительная величина максимального оседания (для месторождений со слабыми вмещающими породами принимается равным 0,9); m – вынимаемая мощность пласта, м; $\Delta\sigma_e$ – величина приращения эффективных напряжений вследствие водопонижения, кг/м²; $k_i = a_i / (1 + \varepsilon_i)$ – коэффициенты, учитывающие физико-механические свойства i -того породного слоя (сжимаемость a_i и пористость ε_i), h_i – мощности сжимаемых породных слоев, м.

Поскольку процесс оседания земной поверхности при подземной разработке пластовых месторождений в настоящее время изучен достаточно детально [1-3], целью настоящей статьи является исследование основных источников погрешностей, влияющих на точность прогнозирования оседаний земной поверхности при подработках и водопонижении.

При снижении напора водоносного горизонта на величину ΔH происходит увеличение эффективных напряжений на величину

$$\Delta\sigma_e = \Delta H \gamma ,$$

где $\Delta H = H_1 - H_2$ – разность уровней воды в водоносном горизонте до и после водопонижения, м; γ – плотность воды, кг/м³.

С учетом этого компонента оседание η_{0b} может быть представлено в следующем виде:

$$\eta_{0b} = B_k = (H_1 - H_2) \gamma \sum_{i=1}^n k_i h_i . \quad (1)$$

Известно, что суммарное оседание земной поверхности при водопонижении будет складываться из оседаний отдельных породных слоев. При дальнейших исследованиях были использованы данные лабораторных испытаний ВНИМИ физико-механических свойств образцов горных пород Грушевско-Басанского участка месторождения и величины пьезометрических уровней подземных вод по гидронаблюдательным скважинам до начала дренажных работ.

Оценка точности выполнялась методом частных производных [6-8] с использованием результатов натурных инструментальных наблюдений за сдвижениями земной поверхности на наблюдательных станциях, заложенных сотрудниками кафедры маркшейдерии НГУ на шахтах Марганецкого ГОКа.

При оценке точности прогнозирования максимальных оседаний земной поверхности при водопонижении предпочтение было отдано слою краснобурых глин, поскольку доля его сжимаемости B_i в суммарной B_k весьма значительна и может достигать до 50 % (табл.1).

Таблица 1

Показатели физико-механических свойств горных пород Грушевско-
Басанского участка месторождения

№ пп	Наименование пород	Средняя мощность слоя, h_i , м	Коэффициент пористости, ε_i	Коэффициент сжимаемости при нагрузке 1кгс/см ² , a_i , см ² /кг	$K_i = \frac{a_i}{1 + \varepsilon_i}$, $\frac{\text{см}^2}{\text{кг}} \cdot 10^{-3}$	Средняя величина сжимаемости слоя, B_i , мм	$\frac{B_i}{B_k}$, %
1	Суглинки светлобурые лессовидные	14,5	0,985	0,030	15,1	50-160	10
2	Глина красно-бурая, плотная	11,3	0,796	0,050	27,8	150-650	46-50
3	Глина темносерая, плотная	4,6	0,871	0,0281	15,0	20-75	4
4	Известняк-ракушечник плотный	5,3	0,710	0,003	1,8	10-20	1
5	Глина мергелистая серая, плотная	13,3	1,500	0,0116	4,6	90-140	10
6	Глина черная, плотная, водоносная	7,7	1,165	0,014	6,5	20-120	9
7	Песок желтовато-серый, мелкозернистый, водоносный	3,7	0,580	0,001	0,6	1-2	–
8	Глина яблочно-зеленая	11,4	1,040	0,014	6,9	80-140	10
9	Марганцевая руда	2,1	1,128	0,050	23,5	40-100	10
10	Песок темно-серый, мелкозернистый, водоносный	11,0	0,978	0,001	0,5	1-2	–

Учитывая, что в выражении (1) k_i и γ – параметры постоянные, на точность определения величины сжимаемости красно-бурых глин влияют погрешности определения ее мощности и степени водопонижения.

Погрешность определения степени водопонижения $m_{\Delta H}$ зависит от погрешностей определения уровней водоносных горизонтов до и после водопонижения и нанесения их на план. Эта погрешность условно принята равной ± 2 м.

Погрешность определения мощности красно-бурых глин m_h была принята равной ± 3 м.

В общем виде среднеквадратическая погрешность определения величины B_i может быть представлена в следующем виде:

$$M_{B_i} = \pm \sqrt{m_{B_1}^2 + m_{B_2}^2},$$

где m_{B_1} – погрешность определения B_i за счет влияния погрешности определения степени водопонижения;

$$m_{B_1} = \frac{\partial B}{\partial \Delta H} m_{\Delta H} = \gamma k_i h_i m_{\Delta H},$$

m_{B_2} – погрешность определения B_i за счет влияния погрешности определения мощности глин;

$$m_{B_2} = \frac{\partial B}{\partial h} m_h = \gamma k_i \Delta H m_h.$$

На рис. 1 представлены графики погрешностей M_{B_i} в зависимости от степени водопонижения для слоя красно-бурых глин различной мощности ($h = 15-25$ м). При этом установлено, что с увеличением мощности пород и степени водопонижения погрешность M_{B_i} увеличивается.

На рис. 2 показаны графики погрешностей m_{B_1} и m_{B_2} при известной величине водопонижения $\Delta H = 10$ м. В этом случае основное влияние на погрешность M_{B_i} будет оказывать погрешность m_{B_1} определения степени водопонижения.

На основании проведенных исследований было установлено, что только лишь для красно-бурых глин погрешности M_{B_i} при $\Delta H = 10-15$ м и $h = 20-25$ м могут достигать величин до 150-200 мм.

Учитывая неоднородность толщи покрывающих пород (суглинки, глины, песок, известняк) можно сделать вывод, что эти погрешности могут быть значительно большими (до 300-350 мм) при определении суммарной осадки всей подрабатываемой толщи. Этим можно объяснить факты некоторых несовпадений графиков расчетных и фактических величин сжимаемости горных пород [4].

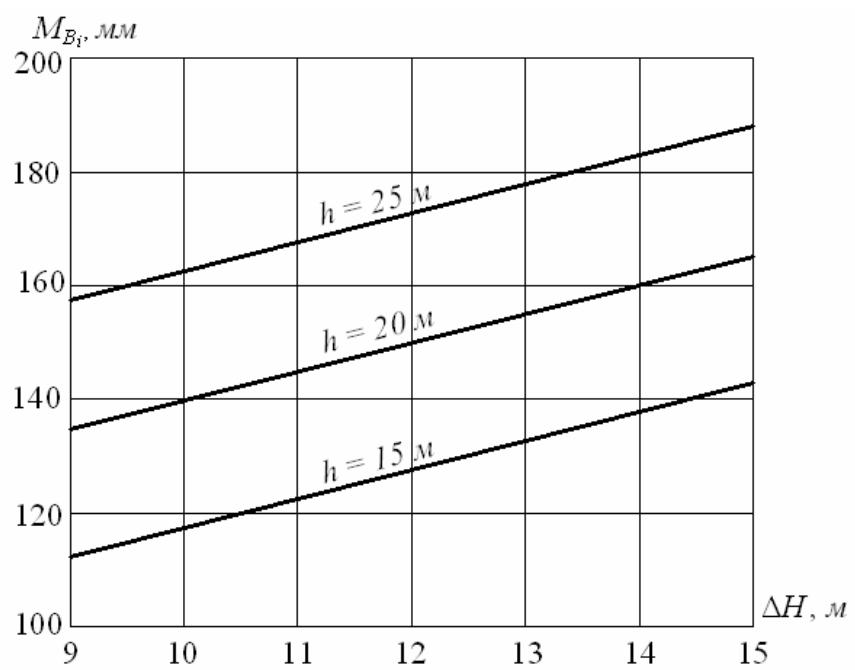


Рис.1. Графики погрешности определения величины сжимаемости красно-бурых глин M_{B_i} при различных значениях ее мощности

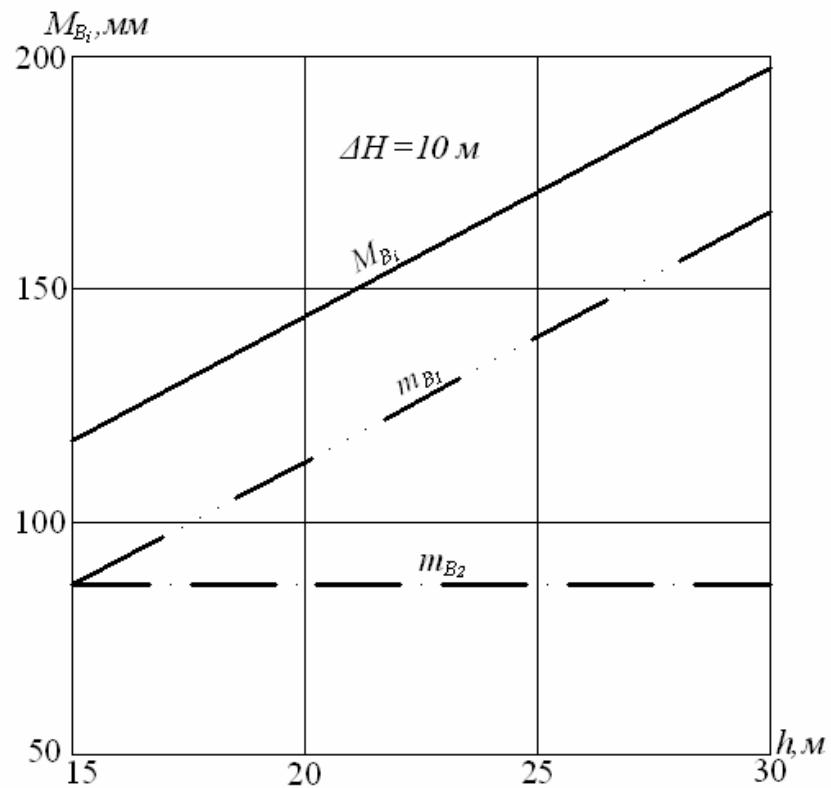


Рис.2. Графики погрешности определения сжимаемости M_{B_i} и погрешностей, влияющих на погрешность определения сжимаемости m_{B_1} и m_{B_2}

Полученные результаты позволяют сформулировать следующие основные выводы:

1. Дополнительные оседания подрабатываемого породного массива, представленного слабыми песчано-глинистыми отложениями, при водопонижении могут быть весьма значительными – до 1 м и более, что может отрицательно влиять на состояние зданий и сооружений при подработках.
2. Установлено, что величины дополнительных оседаний земной поверхности находятся в прямо пропорциональной зависимости от степени водопонижения подрабатываемой породной толщи.
3. Наибольшими коэффициентами сжимаемости обладают красно-бурые глины. Так для толщи красно-бурых глин при величине водопонижения около 10-15 м и мощности этих глин порядка 20-25 м погрешности определения величины сжимаемости могут достигать величин до 150-200 мм.
4. Отклонения расчетных максимальных оседаний от фактических, полученных по результатам натурных инструментальных измерений на наблюдательных станциях, составляют около 10-15% [4]. Это свидетельствует об удовлетворительной сходимости полученных результатов и возможности практического использования предлагаемой методики прогнозирования максимальных оседаний земной поверхности в условиях водопонижения для выбора эффективных мер охраны сооружений и объектов при подработках.

Список литературы

1. Авершин С.Г. Расчет деформаций массива горных пород под влиянием подземных разработок. Л.: ВНИМИ, 1960. – 87 с.
2. Земисев В.Н. Расчет деформаций горного массива. М.: Недра, 1973. – 144 с.
3. ГСТУ 101.00159226.001–2003. Правила підробки будівель, споруд і природних об'єктів при видобуванні вугілля підземним способом. – Вид. офіц.– Мінпаливенерго України, 2004. – 128 с.
4. Лисица И.Г., Антипенко Г.А., Гаврюк Г.Ф. Особенности процесса сдвижения земной поверхности при разработке Никопольского месторождения // В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. Вып. 91, К.: Техніка, 1992. – С. 38-43.
5. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных разработок на Никопольском марганцевом месторождении. Составители: Лисица И.Г., Антипенко Г.А., Гаврюк Г.Ф. – Днепропетровск, ДГИ, 1985. – 38 с.
6. Колбенков С.П. Оценка точности измеренных и расчетных величин деформаций земной поверхности // Тр. ВНИМИ, 1961, сб. XLIII. – С. 78-90.
7. Медянцев А.Н. О точности расчета деформаций земной поверхности // Тр. ВНИМИ, 1963, сб. L. – С. 190-193.
8. Казаковский Д.А. К вопросу о предрасчете сдвижений горных пород при разработке угольных месторождений // Тр. ВНИМИ, 1952, сб. XXV. – С. 3-11.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Назаренком В.О.
Надійшла до редакції 29.10.10*

К РАСЧЕТУ СЕЙСМОБЕЗОПАСНЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ В БЛИЗИ ОХРАНЯЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Приведены результаты теоретических исследований по определению сейсмобезопасных параметров системы "грунтовое основание-фундамент-сооружение" при взрывах цилиндрических и сферических зарядов с учетом влияния периода колебаний для характерных типов грунтов.

Наведено результати теоретичних досліджень визначення сейсмобезпечних параметрів системи "грунтува основа–фундамент–споруда" при вибухах циліндричних та сферичних зарядів з урахуванням впливу періоду коливань для характерних типів ґрунтів.

Results of theoretical researches by definition of seismic safe parameters of system "soil basis-base-construction" are resulted at explosions of cylindrical and spherical charges taking into account influence of the period of fluctuations for characteristic types of soils.

Анализ состояния проблемы. В связи с увеличением объемов ведения взрывных работ и приближения этих работ к охраняемым объектам возникает необходимость разработки методики для оценки сейсмостойкости близлежащих сооружений и выбора рациональных параметров ведения взрывных работ. Отметим, что на данный момент таблицы допустимых скоростей колебаний грунтового основания охраняемых объектов, составляются без учета частотной характеристики колебательного процесса системы "грунтовое основание-фундамент-сооружение". Такой подход изложен в работах [1–4].

Цель работы – разработка методики расчета сейсмобезопасных параметров перемещений охраняемых объектов при взрывах цилиндрических и сферических зарядов, учитывая разные периоды колебаний системы "грунтовое основание-фундамент-сооружение" для различных характерных типов грунтов.

Материал и результаты исследований. Используя подход, предложенный в работах [5–6] рассмотрим задачу для одномерной постановки. Грунт характеризуется модулем сдвига G и динамическим коэффициентом ньютоновской вязкости μ ; q – приведённая масса сооружения, отнесенная к единице площади поверхности грунта; h – расстояние от поверхности грунта до плоскости сейсмического воздействия. Тогда для грунта, моделируемого упруго-вязкой средой, касательное напряжение $\tau_{xz}(x,t)$, определяется зависимостью:

$$\tau_{xz} = G \frac{\partial w}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t}, \quad (1)$$

где $w = w(x,t)$ – горизонтальное перемещение, t – время, x,z – координаты.

Подставляя (1) в дифференциальное уравнение одномерных движений грунта:

$$\rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}, \quad (2)$$

получим:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \nu \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial t}, \quad (3)$$

где $a^2 = \frac{G}{\rho}$, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ - кинематический коэффициент вязкости, ρ - плотность грунта.

Границные условия для искомой функции $w(x, t)$ имеют вид при $x=h$:

$$w(h, t) = \Delta \sin \omega t, \quad (4)$$

где ω - частота горизонтальных колебаний слоя, Δ - амплитудное значение сейсмического воздействия;

при $x=0$ имеем:

$$\tau_{xz}(0, t) = G \frac{\partial w}{\partial x} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial t} = q \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (5)$$

то есть касательное напряжение на поверхности грунта равняется приведенной к единице площади горизонтальной составляющей инерционной силы сооружения.

Общее решение уравнения (3) может быть представлено в виде:

$$w = w(x, t) = R(x) e^{-i\omega t}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (3), после исключения сомножителя, получаем для функции $R=R(x)$ обычное однородное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$(v\omega + ia^2) \frac{d^2 R}{dx^2} + i\omega^2 R = 0. \quad (7)$$

Составляя для (7) характеристическое уравнение, получим для двух его комплексных корней k_1 и k_2 следующие выражения:

$$k_1 = m + ni, \quad k_2 = -(m + ni), \quad (8)$$

где

$$m = \left\{ \frac{[(1+\psi^2)^{0.5} - \psi]}{2(1+\psi^2)} \cdot \frac{\omega}{v} \right\}^{0.5},$$

$$n = -\left\{ \frac{[(1+\psi^2)^{0.5} + \psi]}{2(1+\psi^2)} \cdot \frac{\omega}{v} \right\}^{0.5}, \quad (9)$$

$\psi = \frac{a^2}{v\omega}$ - безразмерная величина, которая принимается в дальнейшем за первый критерий подобия задания $[m] \rightarrow [n]$.

Решение уравнения (7) имеет вид:

$$R = R(x) = C_1 e^{k_1 x} + C_2 e^{k_2 x}, \quad (10)$$

где постоянные C_1, C_2 - комплексные величины:

$$C_1 = a_1 + b_1 i; \quad C_2 = a_2 + b_2 i. \quad (11)$$

Таким образом, на основании (6), (8), (10) и (11) :

$$w(x,t) = [(a_1 + b_1 i)e^{mx} \cdot e^{nix} + (a_2 + b_2 i)e^{-mx} \cdot e^{-nix}] e^{-i\omega t}. \quad (12)$$

Полагая далее

$$\begin{aligned} e^{nix} &= \cos nx + i \sin nx, \\ e^{-nix} &= \cos nx - i \sin nx, \\ e^{-i\omega t} &= \cos \omega t + i \sin \omega t, \end{aligned} \quad (13)$$

определим исковую функцию $w(x,t)$ как действительную часть зависимости (12). Используя предельные условия (4) и (5), и приравнивая коэффициенты при одинаковых тригонометрических функциях, получим для четырех действительных величин a_1, a_2, b_1, b_2 следующую систему линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} a_1 e^{mh} \sin nh - a_2 e^{-mh} \sin nh + b_1 e^{mh} \cos nh + b_2 e^{-mh} \cos nh &= \Delta, \\ a_1 e^{mh} \cos nh - a_2 e^{-mh} \cos nh + b_1 e^{mh} \sin nh + b_2 e^{-mh} \sin nh &= 0, \\ a_1(m\psi + n + x) - a_2(m\psi + n - x) - b_1(n\psi - m) + b_2(n\psi - m) &= 0, \\ a_1(n\psi - m) - a_2(n\psi - m) + b_1(m\psi + n + x) - b_2(m\psi + n - x) &= 0, \end{aligned} \quad (14)$$

где $x = q \frac{\omega}{\mu}$.

Рассмотрим кроме Ψ , два независимых безразмерных критерия:

$$\Omega = \frac{\omega}{v} h^2 \quad \text{и} \quad \Phi = xh = \frac{q\omega}{\mu} h^2, \quad (15)$$

а также зависящие от Ψ и Ω безразмерные критерии:

$$M = mh = M(\Psi, \Omega), \quad N = nh = N(\Psi, \Omega), \quad (16)$$

которые определяются соответственно к (9) и (15).

На основании приведенных выше уравнений и зависимостей (12)-(16) выражение для $w(0,t)$ - величины горизонтального перемещения грунта на его поверхности запишется в виде:

$$w(0,t) = (b_1 + b_2) \sin \omega t + (a_1 + a_2) \cos \omega t, \quad (17)$$

а его амплитудное значение

$$\delta = \delta(\Psi, \Omega, \Phi) = \sqrt{(b_1 + b_2)^2 + (a_1 + a_2)^2}. \quad (18)$$

Очевидно, что с увеличением приведенной массы сооружения q , соответствующим увеличению значения критерия Φ , при других равных условиях, происходит уменьшения величины соотношения δ/Δ .

Были проведены расчеты горизонтальных перемещений оснований для грунта с $\rho = 2 \cdot 10^3 \text{ гс} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{см}^{-4}$, $G = 2 \cdot 10^5 \text{ гс} \cdot \text{см}^{-2}$, $\mu = 55 \cdot 10^3 \text{ гс} \cdot \text{с} \cdot \text{см}^{-2}$, $v = 7,5 \cdot 10^6 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^2$, при

этом $a=10^4 \text{с}^{-1}\cdot\text{см}$, $m = 2,2 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$, $n = -2,15 \cdot 10^{-3} \text{ см}^{-1}$ при различных периодах колебаний от техногенных взрывов.

На рис.1 приведены зависимости горизонтальных перемещений грунтового основания от времени при взрывах на глубине $h=50 \text{ м}$ и приведенной массе наземного сооружения $q=0,0005 \text{ кгс}\cdot\text{с}^2\cdot\text{см}^{-3}$ и разных периодах колебаний: 1 – $T=0,11 \text{ с}$; 2 – $T=0,15 \text{ с}$.

Из рисунка следует, что незначительное увеличение периода колебаний сейсмовзрывной волны (на 0,04 с) привело к значительному увеличению (более чем в 10 раз) горизонтальных перемещений на поверхности грунта. Были также проведены расчеты для различных периодов колебаний, полученных при экспериментальных исследованиях.

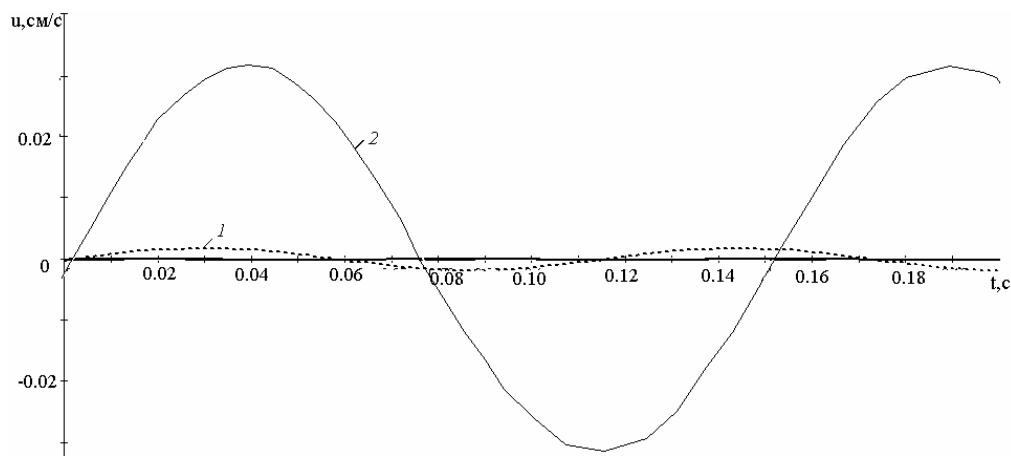


Рис.1. Зависимости горизонтальных перемещений грунтового основания от времени при взрывах на глубине $h=50 \text{ м}$ и приведенной массе наземного сооружения $q = 0,0005 \text{ кгс}\cdot\text{с}^2\cdot\text{см}^{-3}$ и разных периодах колебаний: 1 - $T = 0,11 \text{ с}$; 2- $T = 0,15 \text{ с}$.

Опираясь на экспериментальные данные, полученные в работе [7], были определены линейные массы при взрыве скважинных зарядов в зависимости от периодов колебаний в продольной волне в упругой зоне:

$$Q_{\lambda} = \left(\frac{T_p}{K_p(0,01l + 1)} \right)^{0,625} \quad (19)$$

и массы зарядов при взрыве сферических зарядов в зависимости от периодов колебаний в продольной волне:

$$Q = \left(\frac{T_p}{K_p h^{0,2}} \right)^{0,625} \quad (20)$$

где K_p - экспериментальные коэффициенты, значения которых получены при выполнении экспериментальных исследований; Q_{λ} - линейная масса скважинного заряда, l - длина скважинного заряда; Q - масса сферического заряда, h – глубина заложения заряда, T_p - период колебаний.

Периоды колебаний грунтового основания в продольной волне, полученные в результате сейсмоизмерений, определялись по сейсмограммам взрывов, а экспериментальные коэффициенты K_p приведены в таблице.

Таблица

Значения экспериментальных коэффициентов

Грунт	Скважинные заряды	Сферические заряды
	K_p	K_p
Суглинки	0,065	0,055
Известняки	0,012	0,02
Граниты	0,01	0,01

На основании теоретически установленных зависимостей скоростей перемещения грунтового основания и масс зарядов от периодов колебаний при взрывах цилиндрических и сферических зарядов в различных грунтовых условиях были построены номограммы для определения сейсмобезопасных параметров проведения взрывных работ вблизи охраняемых объектов: линейной массы цилиндрического заряда при проведении взрывных работ для известняков и гранитов (рис. 2. а, б) и массы сферического заряда при проведении взрывных работ для суглинков (рис.3).

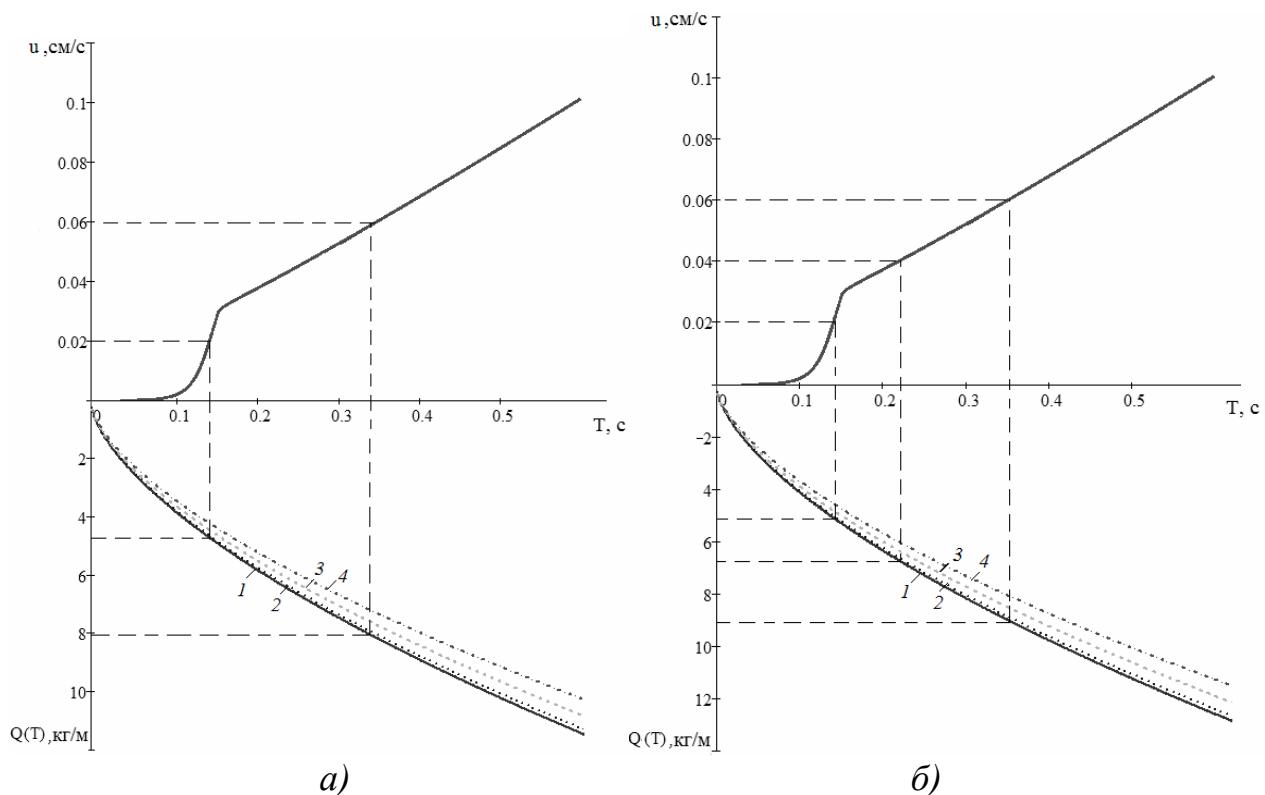


Рис 2. Номограмма определения сейсмобезопасной линейной массы цилиндрического заряда при проведении взрывных работ для известняков (а) и гранитов (б) при длине зарядов: 1- $l=0,5$ м, 2 - $l=3$ м, 3 - $l=10$ м, 4 - $l=20$ м

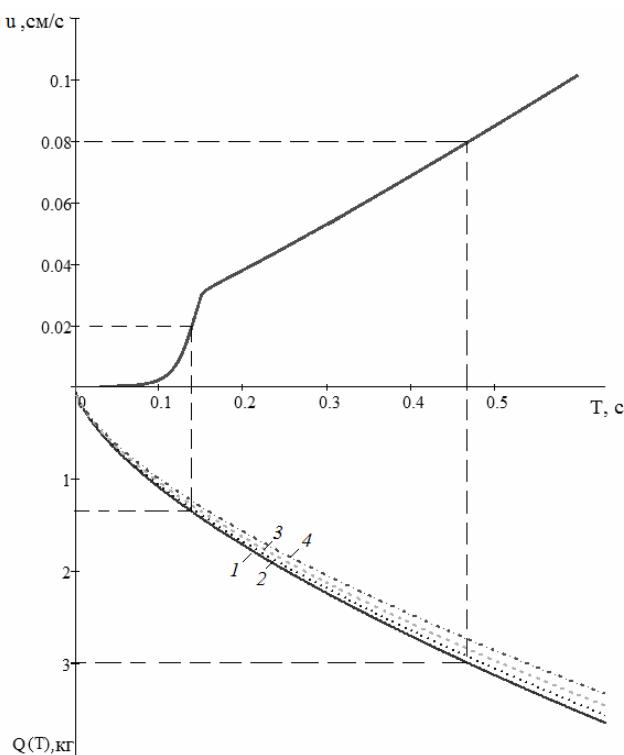


Рис. 3. Номограмма определения сейсмобезопасной массы сферического заряда при проведении взрывных работ для суглинков для различных глубин заложения заряда: 1- $h=7,5$ м, 2 - $h=9$ м, 3 – $h =11,2$ м, 4 - $h=15$ м

Выводы. Разработана методика расчета перемещений грунтового основания поверхностных охраняемых объектов. В результате исследования установлено, что увеличение периода колебаний грунта приводит к значительному увеличению перемещений основания сооружения. Установлено, что колебания от взрывов, имеющие меньшие периоды колебаний оказывают менее разрушительное влияние на сооружения. На основании теоретически установленных зависимостей скоростей перемещения грунтового основания и масс зарядов от периодов колебаний были разработаны номограммы для определения сейсмобезопасной массы сферических и цилиндрических зарядов взрывчатых веществ.

Результаты работы могут быть использованы при определении сейсмобезопасных параметров проведения взрывных работ вблизи поверхностных охраняемых объектов.

Направлением дальнейших исследований может быть разработка рекомендаций по определению параметров взрывных работ для конкретных грунтов и применения различных типов ВВ.

Список литературы

1. Богацкий В. Ф. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного действия промышленных взрывов /В. Ф. Богацкий, А. Г. Фридман. – М. : Недра, 1982. – 162 с.
2. Миронов П. С. Взрывы и сейсмобезопасность сооружений /Миронов П. С. – М. : Недра, 1973. – 168 с.

3. Сафонов Л. В. Сейсмический эффект взрыва скважинных зарядов /Л. В.Сафонов, Г. В.Кузнецов. – М. : Наука, 1967. – 102 с.
4. Цейтлин Я.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов /Цейтлин Я.И., Смолий Н.И.–М.: Недра, 1981, - 192с.
5. Гениев Г.А. Влияние конструктивной системы сооружения на сейсмическое движение поверхности упруго-вязкого грунта / Гениев Г.А, Мамаева Г.В./Сейсмостойкое строительство - 2000. - №2. – с.26-28.
6. Гениев Г.А. О критериях подобия в задаче о перемещениях поверхности грунтового массива, вызванных горизонтальными и вертикальными сейсмическими воздействиями /Гениев Г.А //Сейсмостойкое строительство - 1999. - №5. – с.26-28.
7. Кузьменко А.А. Сейсмический эффект взрывов цилиндрических зарядов /Кузьменко А.А. //Взрывное дело. Сборник №8138 – М.: Недра. - 1979. – с.180-196.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.
Надійшла до редакції 18.07.10*

УДК 681.518.54

© Г.В. Кузнецов, Л.І. Мещеряков, М.А. Дудля, Т.В. Бабенко

ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО І ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСК БУРІННЯМ СВЕРДЛОВИН НА БАГАТОПАРАМЕТРИЧНІЙ МОДЕЛІ

Представлені основні складові розробленого інформаційного і програмного забезпечення автоматизованої системи керування технологічним процесом буріння глибоких свердловин.

Представлены основные составляющие разработанного информационного и программного обеспечения автоматизированной системы управления технологическим процессом бурения глубоких скважин.

Basic constituents are presented of the developed informative and program providing of the automated system of technological process control of the boring drilling of deep mining holes.

Технологічний процес буріння відноситься до детермінованих процесів із стохастичними змінними збудженнями, які потребують в залежності від точності і швидкості управління використання кореляційно-екстремальних алгоритмів управління для вирішення комплексної оптимізації в поточному стані. Розробка багатопараметричної інформаційної моделі для АСК бурінням обумовлює необхідність представлення інформаційного забезпечення оптимального управління процесом буріння в єдиній алгоритмічній системі обробки інформації. Для розробки такої системи необхідно всі окремі інформаційні моделі процесу породоруйнування зв'язати в єдину функціональну інформаційну структурну схему, яка і буде представляти багатопараметричну інформаційну модель АСУ бурінням [1, 2, 3].

При цьому функціональну структуру багатопараметричної інформаційної моделі (БПІМ) АСК бурінням складають наступні інформаційні системи: система введення і виведення інформації; система підготовки інформації; система обробки інформації; система видачі результуючої інформації.

Система введення і виведення інформації призначена для управління функціонуванням БПМ АСК бурінням шляхом зміни початкових і поточних параметрів процесу буріння, а також для внесення змін в алгоритми обробки інформації в технологічних процесах буріння.

Система підготовки інформації призначена для первинної обробки початкових і поточних параметрів процесу буріння, в результаті якої визначаються нові параметри, інформацію про які можна визначити тільки розрахунковим шляхом [4]. Визначені нові параметри необхідні для рішення задач, які виконує система обробки інформації.

Система обробки інформації призначена для визначення законів оптимального управління процесом буріння чотирма режимно-технологічними параметрами на основі даних, які надає система підготовки даних.

Система видачі інформації призначена для управління вихідними чотирма режимно-технологічними параметрами АСК бурінням.

Всі перелічені системи мають свою внутрішню структуру, яку в загальному взаємозв'язку представляють БПМ АСК бурінням.

На відміну від існуючих БПМ АСК бурінням [1, 2, 3] в розроблену модель вкладені додатково:

- геофізичні параметри гірських порід в системі підготовки інформації, які визначаються за даними сейсморозвідки, що надає можливість розв'язувати задачі оптимального управління процесом буріння;

- задачі в системі обробки інформації, які в сукупності їх розв'язання дозволяють визначати закони оптимального управління процесу буріння за багатопараметричним критерієм - мінімальна вартість одного метра буріння трьома режимно-технологічними параметрами, що дозволяє підвищити рівень і ефективність автоматизації технологічного процесу буріння;

- параметр керування тиску подачі промивальної рідини, який дозволяє точніше керувати подачею породоруйнівного інструменту (ПРІ) на вибій.

Для функціонування БПМ АСК бурінням на рис. 1 представлений загальний алгоритм обробки інформації і оптимального управління процесом буріння чотирма режимно-технологічними параметрами процесу буріння, на основі розроблених інформаційних моделей АСК бурінням.

Загальний алгоритм багатопараметричної інформаційної моделі АСК бурінням функціонує у наступній послідовності:

- введені початкові дані поступають в систему підготовки інформації;

- виконується алгоритм рішення задачі технологічної оптимізації інформаційно-пошуковим методом, який визначає залежність (закон управління) механічної швидкості буріння від чотирьох режимно-технологічних параметрів і знаходить максимальне її значення при відповідних параметрах;

- виконується алгоритм визначення режимно-технологічних параметрів, відповідних оптимальній швидкості буріння;

- виконується алгоритм рішення задачі оцінки проходки на породоруйнівний інструмент для оптимальної механічної швидкості буріння при відповідних режимно-технологічних параметрах, які визначені попереднім алгоритмом;

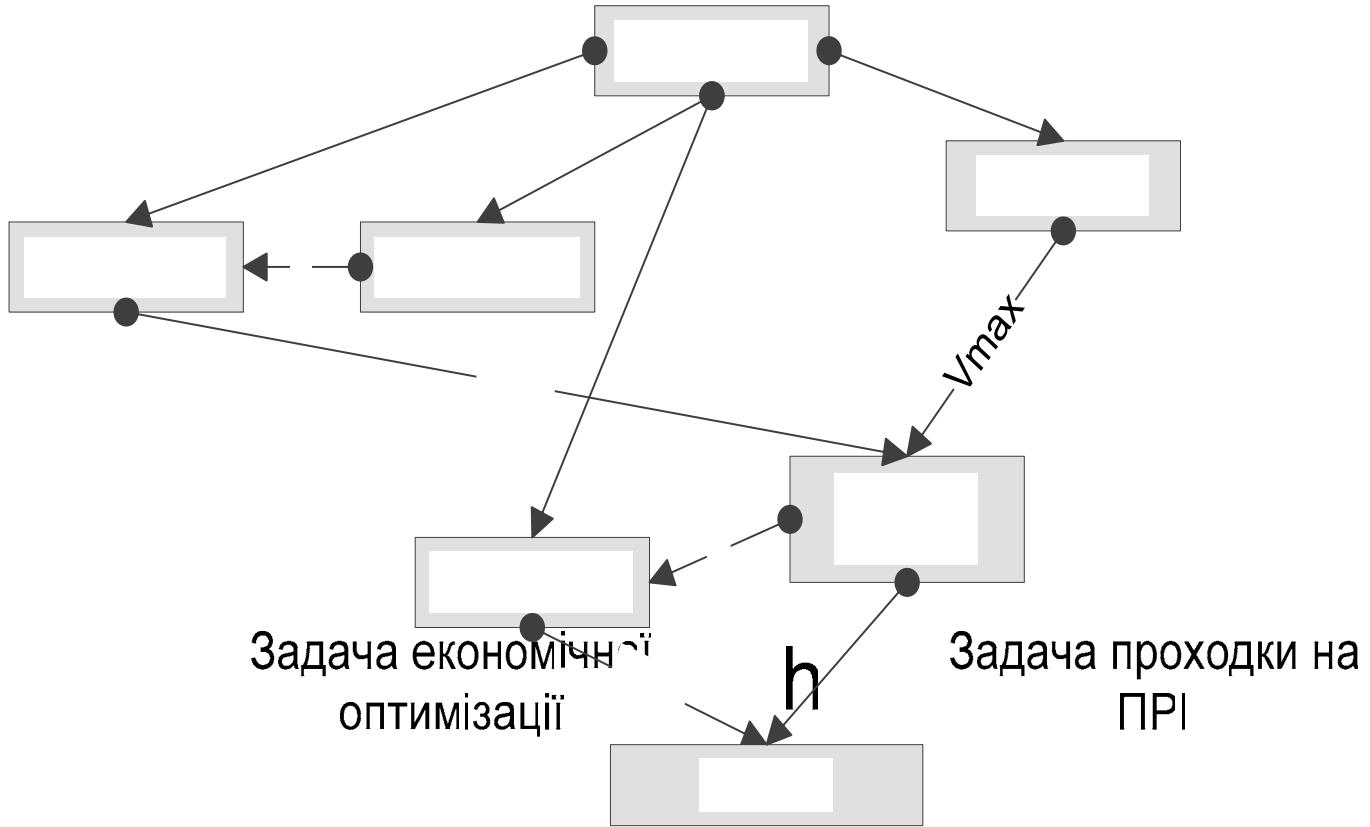


Рис. 1. Структурна схема алгоритму обробки і видачі інформації в багатопараметричній інформаційній моделі АСК

pt

– виконується алгоритм рішення задачі економічної оптимізації процесу буріння, який визначає оптимальну механічну швидкість буріння, яка відповідає критерію – мінімальна вартість одного метра буріння протягом рейсу;

– виконується алгоритм рішення задачі оптимального управління процесом буріння, який видає оптимальні параметри системи керування бурінням, визначенім інформаційно-пошуковим методом;

– виконується алгоритм рішення задачі пошуку оптимального тиску за даними з алгоритму оптимального керування, а саме обраний режим буріння.

Функціонально система підготовки інформації (СП) призначена для вводу, збереження і використання початкової інформації в системі обробки інформації для вирішення задач оптимального управління технологічним процесом буріння.

Структуру СП складають наступні основні групи даних: економічні, геофізичні, технологічні, технічні, статистичні.

В групу економічних даних входять: q – вартість часу бурових робіт, ум.од./год.; c_k – вартість породоруйнівного інструменту, ум.од.; C_m – вартість одного метра буріння, ум.од..

До групи геофізичних даних включаються: e_{p0} – енергетична щільність 1m^3 гірської породи на поверхні, $\text{Дж}/\text{m}^3$; $e_p(L)$ – енергетична щільність 1m^3 гірської породи, яка залягає на глибині L , $\text{Дж}/\text{m}^3$; p_p – масова щільність 1m^3 гірської породи, $\text{кг}/\text{m}^3$; g – прискорення сили тяжіння, $\text{м}/\text{s}^2$.

Групу технологічних даних складають: L — поточна глибина буріння, м; $Q \in [Q_{\min} - Q_{\max}]$ — витрати промивальної рідини і її межі, л/с; $H \in [H_{\min} - H_{\max}]$ — навантаження на ПРІ і його межі, кН; $\omega \in [\omega_{\min} - \omega_{\max}]$ — частота обертання бурильної колони і її межі, s^{-1} ; μ — ККД процесу породоруйнування; V — механічна швидкість буріння (подачі інструменту на вибій), м/год; h_m — максимальна проходка на ПРІ за статистичними даними, м; i — коефіцієнт зношування ПРІ; V_0 — механічна швидкість буріння, яка відповідає максимальній проходці на ПРІ в функції $h(V)$, м/год; k_p — коефіцієнт міцності (енергетична щільність) породи, Па ($Дж/m^3$); $T_B(L) = b_1L^2 + b_2L + b_3$ — час спуско-підймальних операцій в залежності від глибини буріння, год.; b_1, b_2, b_3 — параметри технологічної системи спуско-підймальних операцій; N — потужність насосу промивної рідини.

Для розв'язання задач економічної оптимізації і проходки на ПРІ: t_a — маса алмазного озброєння ПРІ, кг; d_a — діаметр алмазного різця, м; p_a — масова щільність $1m^3$ алмаза, kg/m^3 ; e_a — енергетична щільність $1m^3$ алмаза, $Дж/m^3$; V_{ap} — швидкість поздовжньої хвилі в алмазі, m/s ; T_m — максимальна технологічна температура нагріву алмаза, 0C ; T_p — початкова (атмосферна) температура нагріву алмаза, 0C ; λ — теплопровідність алмаза, $Bt/(m^0C)$; α — тепlop передача алмаза, Bt^0C/m ; C_p — теплоємність промивальної рідини, $Дж/(kg^0C)$; D_h, D_b — зовнішній і внутрішній діаметри алмазної коронки, м; E_0 — модуль пружності $1m$ бурильної колони, $Pa (Дж/m^{''1})$; p — масова щільність матеріалу бурильної колони, kg/m^3 ; m_0 — маси одного метру бурильної колони, kg/m ; τ — час запізнення сигналів управління і відгуку в системі "колона-різець-порода", с; $f(\dot{S}) = (a_2V^2 + a_1V + a_0)^{-1}$ — статистична функція спрацювання ПРІ.

А в статистичні дані входять: $h_p = F(H, Q, \omega, P)$ — проходка на ПРІ-А, як функція від чотирьох режимно-технологічних параметрів за даними інформаційної моделі; $V = F(H, Q, \omega, P)$ — механічна швидкість буріння, як функція від чотирьох режимно-технологічних параметрів; $h_p = F(V)$ — проходка на ПРІ, як функція від механічної швидкості буріння за статистичними даними.

Алгоритм рішення задачі технологічної оптимізації визначає функцію залежності механічної швидкості буріння від чотирьох режимно-технологічних параметрів процесу буріння, не використовуючи інформації про пружні фізико-механічні параметри геологічної системи.

Розроблене програмне забезпечення, що реалізує представлене вище інформаційне забезпечення, може використовуватись для визначення оптимальних показників процесу буріння, які відповідають мінімальні вартості проходки на один метр буріння за рейс, а саме навантаження на породоруйнівний інструмент, витрати промивальної рідини, частота обертання бурильної колони, тиску промивальної рідини. Також отримання проходки на ПРІ, вартості одного метру буріння за рейс та максимально можливої швидкості подачі породоруйнівного інструменту на вибій за заданими параметрами буріння. Візуально програма відображає можливі швидкості буріння відповідно до оптимальної, а також графіки теоретично розрахованої та практично отриманої швидкості буріння при заданих режимах буріння.

Функціональне призначення програмного забезпечення (ПЗ) сконцентровано в отриманні оптимальних показників процесу буріння при заданих початкових параметрах. ПЗ може використовуватись на бурових комплексах обслуговуючим персоналом для визначення оптимальної швидкості буріння, яка відповідає мінімальній вартості буріння одного метру за рейс, при цьому оптимальна швидкість керується за допомогою чотирьох параметрів: навантаження на породоруйнівний інструмент, витрати промивальної рідини, частота обертання бурильної колони та тиск промивальної рідини. Усі ці параметри мають основний вплив на стабільне значення швидкості подачі породоруйнівного інструменту на вибій.

Логічна структура програмного забезпечення складається з трьох форм. Головна форма служить для вводу поточних даних стану системи, відображення графіків та результату роботи програми. Для вводу даних використовується об'єкт TabSheet, де в свою чергу існують закладки відповідно за категорією даних, які там містяться. Данні розділені на категорії: "Технологічні дані", "Економічні дані", "Дані породоруйнівного інструменту" та "Поточний стан системи". У категорії "Технологічні дані" вводяться діапазони можливих значень головних параметрів системи: навантаження на породоруйнівний інструмент, витрати промивальної рідини, частота обертів бурової колони, тиск промивальної рідини. Ці дані використовуються для побудови моделі за чотирма режимно-технологічними параметрами. Для категорії "Економічні дані" вводяться параметри, такі як: вартість години бурових робіт, вартість породоруйнівного інструменту та коефіцієнти спуско-підіймальної операції. Дані використовуються в алгоритмі пошуку оптимальної з економічної точки зору швидкості буріння. У категорії "Дані породоруйнівного інструменту" вводяться наступні параметри: зовнішній та внутрішній діаметр алмазної коронки, діаметр алмазного різця, категорія породи де вже працювала коронка та середня міцність породи по свердловині. Для категорії "Поточний стан системи" вводяться дані: проходка на ПРІ, поточна швидкість буріння, поточне навантаження на ПРІ, поточна частота обертання бурильної колони, поточні витрати промивальної рідини, поточна глибина буріння, поточна потужність насосу промивальної рідини.

В меню користувач вводить початкові дані отримані про швидкість буріння відповідну до встановлених режимно-технологічних параметрів. Дані можуть вводитись із файлу вимірів або з форми. В формі вводу початкових даних швидкості є поле для вводу швидкостей. Цей об'єкт реалізований в окремому модулі. В меню "Показати розрахунки" користувач може отримати дані проміжних розрахунків алгоритмів оптимізації: максимальні режимно-технологічні параметри в рамках введених меж параметрів та відповідну їм швидкість; проходку на ПРІ; економічно-оптимальну швидкість та вартість одного метру буріння; оптимальну швидкість та відповідні їй чотири параметри: оптимальне навантаження на ПРІ, оптимальні витрати промивальної рідини, частоту обертання бурової колони, оптимальний тиск промивальної рідини. Меню "Константи" відображає форму з константами системи програмного забезпечення (рис. 2).

Меню "Діаграма" дає змогу вибрати дані, які будуть відображені в формі. Перша діаграма відображає теоретично розраховану та практично отриману швидкість буріння при заданих режимно-технологічних параметрах. Друга діаграма відображає технологічно максимальну швидкість, економічно вигідну та розраховану оптимальну швидкість буріння за заданими параметрами.

Робочі візуалізації головної форми програмного забезпечення оптимального управління процесом бурінням глибоких свердловин для різних технологічних режимів представлені на рис. 3, рис. 4, рис. 5.

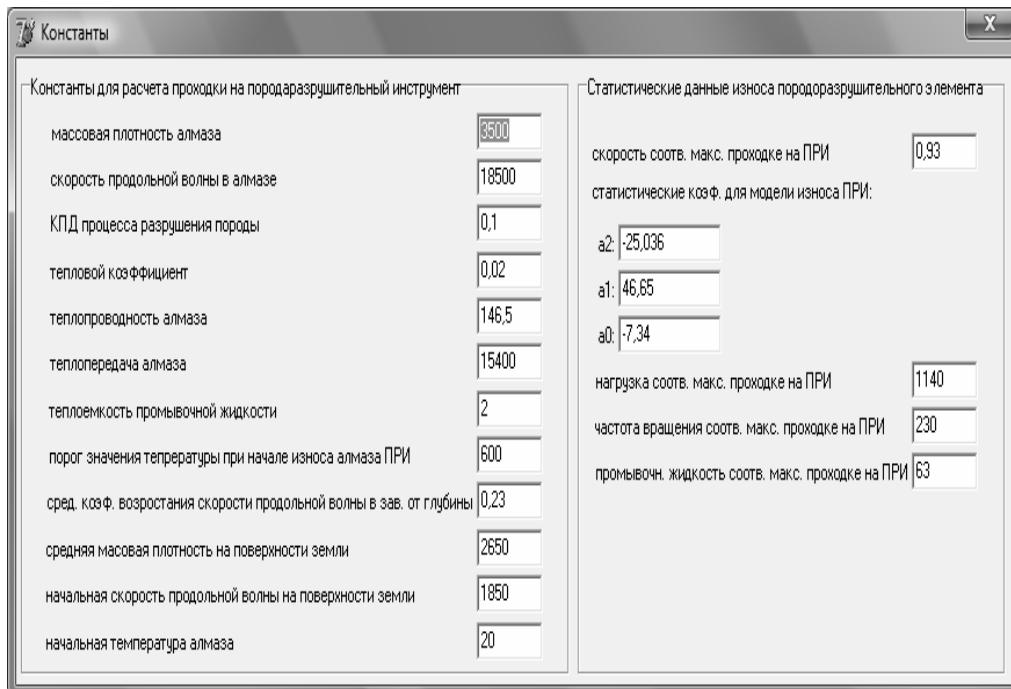


Рис. 2. Форма "Константи" програмного забезпечення

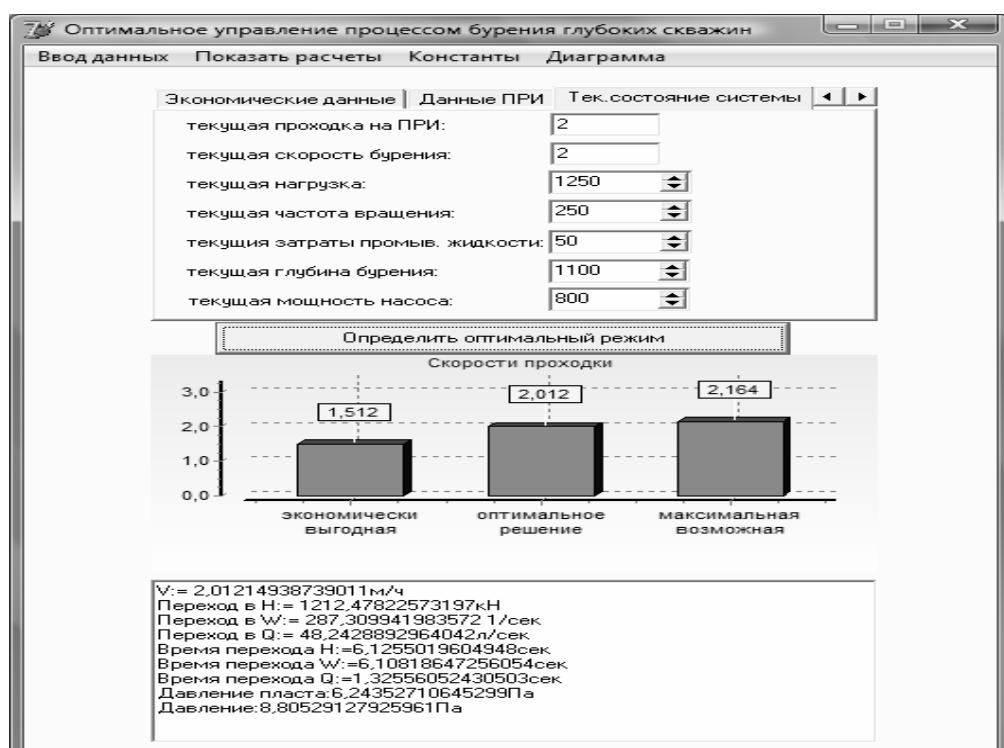


Рис. 3. Головна форма програмного забезпечення

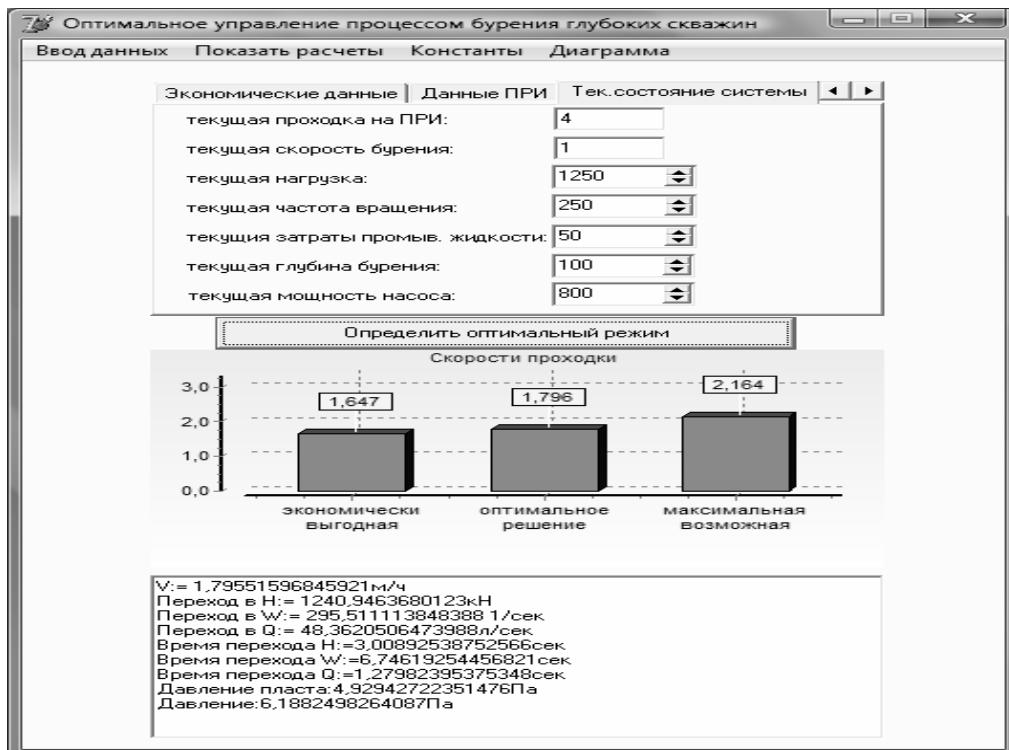


Рис. 4. Головна форма програмного забезпечення

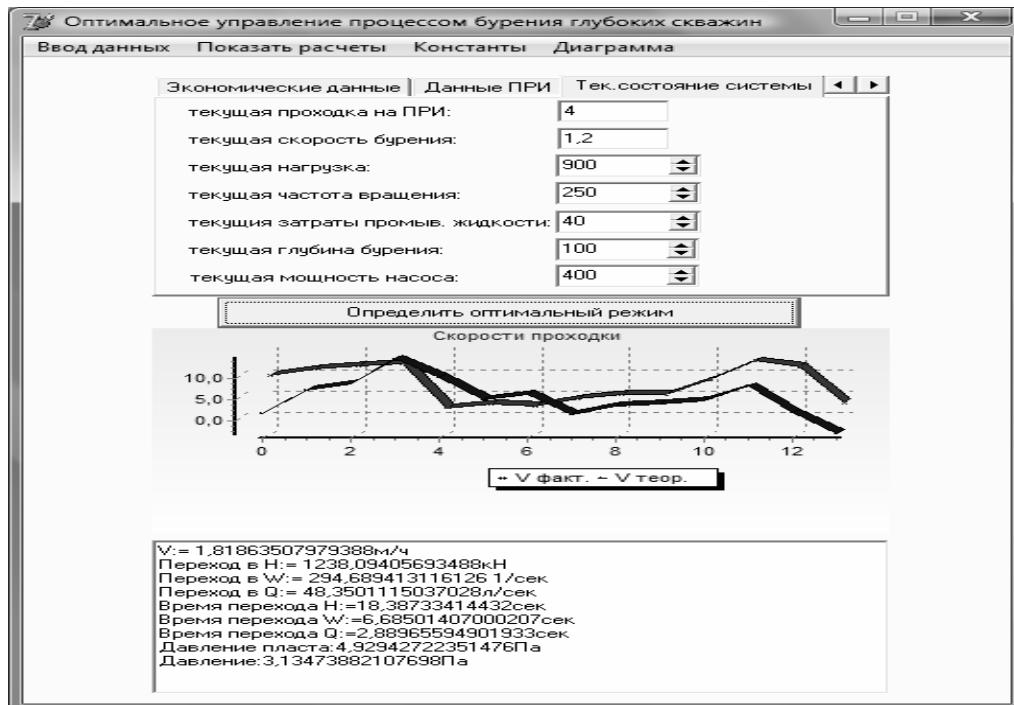


Рис. 5. Головна форма програмного забезпечення

У головному модулі програмного забезпечення оптимального управління процесом бурінням глибоких свердловин реалізовані п’ять основних процедур: рішення задачі технологічної оптимізації, рішення задачі економічної оптимізації, рішення задачі проходки на ПРІ, рішення задачі пошуку оптимального тиску, рішення задачі пошуку оптимальних параметрів процесу буріння. В допоміжних модулях форм процедури мають локальне значення і використовуються для працездатності форм.

Розрахунки програми мають п'ять стадій відповідно до алгоритму мінімізації витрат на один метр буріння:

- виконується алгоритм технологічної оптимізації;
- виконується алгоритм проходки на ПРІ;
- за допомогою даних попереднього алгоритму виконується пошук оптимального значення швидкості з економічної точки зору;
- за даними алгоритму технологічної оптимізації та економічної оптимізації виконується пошук оптимальної швидкості за критерієм мінімальної вартості одного метру буріння за рейс.

Таким чином, розроблені інформаційне і програмне забезпечення автоматизованої системи керування технологічним процесом буріння глибоких свердловин, яке відрізняється від існуючих комплексним урахуванням технічних, економічних, геофізичних, даних, дає можливість вирішувати задачу оптимального керування чотирма режимно-технологічними параметрами водночас за критерієм: «Мінімальна вартість одного метра буріння протягом рейсу». Введення в інформаційне забезпечення нового параметру – тиск промивальної рідини дає змогу точніше стабілізувати роботу системи подачі породоруйнівного інструменти на вибій, а також отримати позитивний економічний ефект за рахунок мінімізації енергетичних витрат на насос промивальної рідини.

Список літератури

1. Дудля М.А., Карпенко В.М., Гриняк О.А., Цзян Гошен. Автоматизація процесу буріння: Монографія. – Д.: Національний гірничий університет, 2005. – 207 с.
2. Diagnostyka urządzeń wiertniczych / G.G. Piwniak, M. Kaliski, A. Zieba, L.J. Mieszczerjakow, M.A. Dudla. – Krakow, Dniepropetrowsk, 2004. – 174 с.
3. Дудля М.А., Мещеряков Л.І. Діагностика та проектування бурових машин і механізмів: Навч. посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2004. – 268 с.
4. Мещеряков Л.И. Математические основы построения дисперсионных диагностических моделей горных электромеханических систем. Вибрации в технике и технологиях, 2002, №1(22). - с. 41–44.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слєсаревим В.В.
Надійшла до редакції 20.11.10*

УДК 622.6:622.33.012.2

© А.Я. Рибалко

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭФФЕКТА БЛИЗОСТИ И ПОВЕРХНОСТНОГО ЭФФЕКТА НА АКТИВНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ МНОГОПРОВОЛОЧНОГО ПРОВОДА С ТРУБЧАТЫМ ПРОВОДЯЩИМ СЛОЕМ В СЕЧЕНИИ

Для многопроволочного провода с трубчатым проводящим слоем в сечении проанализированы взаимосвязи показателей конструкции, геометрических размеров, формы сечения и электрические характеристики (омическое и активное сопротивления) в тяговой сети системы электроснабжения передвижных потребителей при частоте 4 – 10 кГц. Предложены решения для исключения поверхностного эффекта и эффекта близости.

Для багатопровідного проводу з трубчастим провідним шаром в перетині проаналізовані взаємозв'язки показників конструкції, геометричних розмірів, форми перетину і електричні характеристики (омічний і активний опори) в тяговій мережі системи електропостачання пересувних споживачів при частоті 4 – 10 кГц. Запропоновані рішення для виключення поверхневого ефекту і ефекту близькості.

For the multiwire wire with the tubular conducting layer in the section the intercommunications are analysed of indexes of construction, geometrical sizes, forms of section and electric descriptions (omicheskoe and active resistances) in the hauling network of the system of elektronsnabgeniya of movable users at frequency 4 – 10 kGts. The solutions are offered for the exception of superficial effect and effect of closeness.

При передаче енергии в системах электроснабжения важными факторами являются частота изменения электромагнитного поля, конструкция сечения проводов и самой тяговой сети. Так как в тяговой сети имеют место наибольшие потери энергии то задача выбора вида сечения, конструкции и размеров провода в тяговой сети для их снижения является крайне актуальной [1, 2, 3].

В условиях постоянного значения тока в сети уровень потерь энергии обуславливается в основном электрическим сопротивлением провода. Поэтому снижение роста активного сопротивления от уровня частоты может быть достигнуто изменением конструкции и формы сечения провода для исключения влияния поверхностного эффекта и эффекта близости. В виду существующего значительного превышения длины электромагнитной волны над размерами двухпроводной тяговой сети в диапазоне частот 4 – 10 кГц параметры тяговой сети анализируются как сосредоточенные [1]. При этом векторы напряженности электрического поля \vec{E} и магнитного поля \vec{H} , составляющие плоскую электромагнитную волну, зависят от одной пространственной координаты и времени, перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны.

Требование усовершенствования индуктивной передачи энергии в системах электроснабжения с передвижным потребителям при использовании на участках их питания открытых двухпроводных сетей из многопроволочного провода обуславливает необходимость анализа воздействия на активное сопротивление многопроволочного провода с трубчатым проводящим слоем в сечении эффекта близости и поверхностного эффекта. Такую конструкцию многопроволочного провода получают с проволочками, навитыми на круглый сердечник из диэлектрика – многопроволочный проводящий слой образует трубчатый проводник. Эта конструкция позволяет получить достаточной гибкости провод и снизить расход проводникового материала [2, 3]. Здесь возможны следующие варианты конструктивного выполнения провода.

Когда проволочки выполнены без изоляционного покрытия. При одинаковых сечениях проводящего слоя и сплошного сечения проявление поверхностного эффекта такое же, как при цельном проводе. Эффект близости отсутствует.

Когда проволочки проводящего слоя выполнены изолированными. Наблюдаем увеличение активного сопротивления от поверхностного эффекта, как и при сплошном сечении провода. Дополнительно проявляется эффект близости.

В оценке влияния эффекта близости руководствуемся следующим. В точке проводящего слоя трубчатого сечения на радиусе $r_{\text{бн}} \leq r \leq r_{\text{hp}}$ напряженность магнитного поля определяем по выражению (1), где полагаем $r_0 \equiv r_{\text{hp}}$.

$$\bar{H}(r) = \frac{I}{2\pi r_0} \cdot \frac{J_1\left(j^{\sqrt{2}}rk\right)}{J_0\left(j^{\sqrt{2}}r_0k\right)} \quad (1)$$

Количество проволочек, приходящихся на единицу площади сечения проводящего слоя, характеризуем соотношением $\frac{N}{\pi(r_{\text{hp}}^2 - r_{\text{бн}}^2)} = \frac{4p}{\pi d_{\text{np}}^2} = k_s$, а их площадь

в элементарном кольце сечением $2\pi r dr$ внутри проводящего слоя рассчитываем по формуле (2).

$$ds_k = k_s 2\pi r dr \rightarrow ds_k = \frac{8p}{d_{\text{np}}^2} r dr \quad (2)$$

Прирост активного сопротивления провода трубчатого сечения определяем путем ранее проведенных преобразований [8] и интегрированием в пределах от

$$r_{\text{бн}} = \sqrt{r_{\text{hp}}^2 - \frac{s_0}{\pi}} \text{ до } r_{\text{hp}}.$$

$$\frac{R_{\delta\eta}\left(k, r_{\text{hp}}, r_{\text{hp}}\right)}{R_{y\partial,\text{с}}\left(s_0, r_{\text{hp}}\right)} = L(kr) \cdot \int_{r_{\text{бн}}}^{r_{\text{hp}}} \left[ber^2(kr) + bei^2(kr) \right] r \cdot C_{\delta\eta}\left(d_{\text{np}}, r_{\text{hp}}\right) dr. \quad (3)$$

Здесь $C_{\delta\eta}\left(d_{\text{np}}, r_{\text{hp}}\right)$ – коэффициент в подинтегральном выражении

$$C_{\delta\eta}\left(d_{\text{np}}, r_{\text{hp}}\right) = \frac{1}{\left(\frac{d_{\text{np}}}{\Delta\sqrt{2}}\right)^4} \cdot \frac{k^6 p \pi^{-1}}{\left[ber^2\left(\frac{d_{\text{np}}}{\Delta\sqrt{2}}\right) + bei^2\left(\frac{d_{\text{np}}}{\Delta\sqrt{2}}\right) \right] \left[ber_1^2\left(\frac{\sqrt{2}r_{\text{hp}}}{\Delta}\right) + bei_1^2\left(\frac{\sqrt{2}r_{\text{hp}}}{\Delta}\right) \right]}.$$

Анализ зависимости (3) показывает (рис. 1), что с увеличением диаметра проволочки уменьшается прирост активного сопротивления провода от эффекта близости, при этом скорость уменьшения выше на больших частотах. С увеличением количества проволочек имеет место предел прирост активного сопротивления от эффекта близости. Размер предела существенно увеличивается с ростом частоты (в три раза при изменении частоты с 5 до 10 кГц). Увеличение r_{hp} способствует не только уменьшению прироста активного сопротивления от эффекта близости, но и уменьшает толщину проводящего слоя провода, что снижает интенсивность тепловыделения и увеличивает габариты провода.

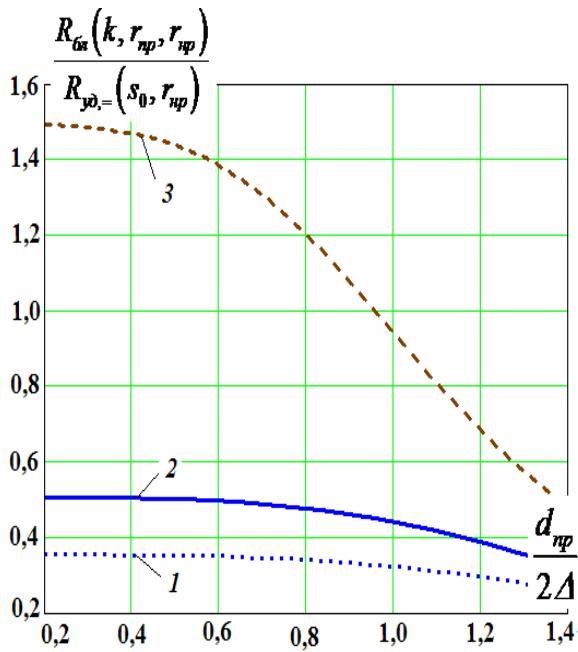


Рис. 1. Кривые зависимости прироста активного сопротивления многопроволочного провода трубчатого сечения от соотношения диаметра проволочки и глубины проникновения электромагнитной волны при частотах 4 кГц (1), 5 кГц (2), 10 кГц (3)

Более простой вид выражения (3) можно получить путем аппроксимации его графической зависимости (с достаточной точностью, коэффициент регрессии 0,994) полиномом второй степени, т.е.

$$\frac{R_{\delta n}(k, r_{np}, r_{np})}{R_{y\delta, \approx}(s_0, r_{np})} = b_0 + b_1 \frac{d_{np}}{2\Delta} + b_2 \left(\frac{d_{np}}{2\Delta} \right)^2, \quad (4)$$

где значения коэффициентов полинома сведены в таблице 2.

Таблица 2
Значения коэффициентов полинома (4)

Частота, кГц	b_0	b_1	b_2
4	0,344	0,042	- 0,041
5	0,482	0,086	- 0,076
10	1,511	0,076	- 0,153

Прирост активного сопротивления многопроволочного (проводочки изолированные) провода трубчатого сечения от поверхностного эффекта и эффекта близости в сравнении с омическим сопротивлением получаем в виде

$$R_{y\delta, \approx} = \frac{1}{\gamma\pi(r_{np}^2 - r_{sh}^2)p} \left[1,005 + pb_0 + (pb_1 - 0,104) \frac{d_{np}}{2\Delta} + (pb_2 + 0,148) \left(\frac{d_{np}}{2\Delta} \right)^2 - 0,011 \left(\frac{d_{np}}{2\Delta} \right)^3 \right] \quad (5)$$

Анализ зависимости (5) показывает (рис. 2), что с увеличением диаметра элементарной проволочки активное сопротивление возрастает до точки

$C_2(3,45; 2,36)$ за счет эффекта близости, который более сильно проявляется с повышением уровня частоты, за точкой $C_2(3,45; 2,36)$ – увеличивается за счет поверхностного эффекта, где скорость прироста активного сопротивления выше на низких уровнях частоты. При использовании провода в широком диапазоне частоты для выбора конструкции можно рекомендовать соотношение параметров $d_{np}/(2\Delta) < 3,45$, где прирост активного сопротивления составляет до $2,36 R_{y\partial,=}$. Для существующей системы электроснабжения передвижных потребителей на частоте 5 кГц рационально использовать в конструкции провода тяговой сети такое соотношение параметров $d_{np}/(2\Delta) < 2,74$ (точка C_1), где прирост активного сопротивления составит до $1,97 R_{y\partial,=}$.

Для сопоставления полученных результатов проведем количественную оценку электрических характеристик провода анализированных его конструкций. Рассмотрим как исходные – параметры системы электроснабжения бесконтактных электровозов В14-900: тяговая сеть выполнена многопроволочным медным проводом (удельная проводимость $\gamma = 54,3 \frac{1}{\text{мкОм} \cdot \text{м}}$) с поперечным сечением 95 мм^2 , который имеет 360 элементарных проволочек радиусом 0,29 мм, коэффициент заполнения сечения $p = 0,92$, частота тока в сети 5 кГц [4, 5, 6].

На частоте 5 кГц глубина проникновения электромагнитной волны в проводящую среду $\Delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \gamma \mu_0 \mu_r}} = \sqrt{\frac{2}{2\pi \cdot 5000 \cdot 54,3 \cdot 4\pi \cdot 10^7 \cdot 1}} = 0,94 \text{ мм}$. Имеем соотношение $r_{np} < \Delta$.

Если элементарные проволочки с изоляционным покрытием, то радиус многопроволочного провода $r_0 = r_{np} \sqrt{\frac{N}{p}} = 0,29 \sqrt{\frac{360}{0,92}} = 5,7 \text{ мм}$; соотношение $\frac{r_{np}}{\Delta} = \frac{0,29}{0,94} = 0,3$. Тогда активное сопротивление провода при $r_{np} < \Delta$ будет равно $1,14 R_{y\partial,=}$.

Если в многопроволочном проводе трубчатого сечения элементарные проволочки не изолированные друг от друга, то имеет место только поверхностный эффект и активное сопротивление трубчатого провода при $\frac{r_0}{\Delta} = \frac{5,5}{0,94} = 5,85$ равно $3,16 R_{y\partial,=}$. Если элементарные проволочки изолированные друг от друга, то будут проявляться поверхностный эффект и эффект близости и активное сопротивление провода при соотношении $\frac{r_{np}}{\Delta} = 0,3$ равно $1,4 R_{y\partial,=}$ (рис. 2). Использование последней конструкции многопроволочного провода дает эффект снижения потерь энергии в 2,26 раза.

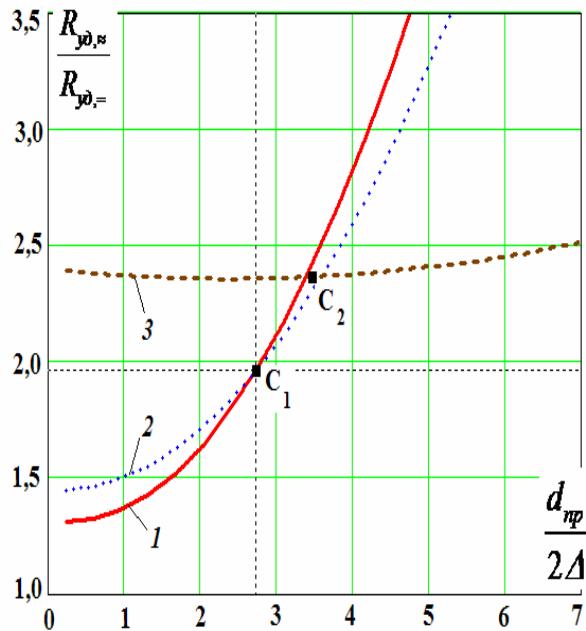


Рис. 2. Кривые зависимости прироста активного сопротивления многопроволочного провода трубчатого сечения в результате влияния поверхностного эффекта и эффекта близости от соотношения диаметра проволочки и глубины проникновения электромагнитной волны при частотах: 4 кГц (1), 5 кГц (2), 10 кГц (3)

Проведенные исследования показали, что прирост вследствие поверхностного эффекта и эффекта близости активного сопротивления многопроволочного (элементарные проволочки изолированные) провода трубчатого сечения от увеличения диаметра элементарной проволочки меняется полярно с повышением частоты и изменением конструктивных параметров: для использования многопроволочного провода в широком диапазоне частоты при выборе конструкции провода можно рекомендовать соотношение параметров $d_{np}/(2\Delta) < 3,45$, где прирост активного сопротивления составит до $2,36 R_{y\partial,=}$ (до этих координат преобладает влияние эффекта близости, за ними – поверхностного эффекта). Для системы электроснабжения на частоте 5 кГц рационально использовать в конструкции провода тяговой сети соотношение параметров $d_{np}/(2\Delta) < 2,74$, где прирост активного сопротивления составляет до $1,97 R_{y\partial,=}$.

Список литературы

1. Львов А.П. Электрические сети повышенной частоты. – М.: Энергоиздат, 1981. – 104 с.
2. Рибалко А.Я. Оцінка витрати провідникового матеріалу в системі електропостачання безконтактних електровозів // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2001. – Вип.67. – С.53–60.
3. Рыбалько А.Я. Снижение расхода проводникового материала в системе электроснабжения бесконтактных электровозов// Горн. информ.-аналит. бюл. – 2003. – №3. – С.207–210.
4. Транспорт с индуктивной передачей энергии для угольных шахт /Г.Г.Пивняк, И.П.Ремизов, С.А.Саратикянц и др.; Под ред. Г.Г. Пивняка. – М.: Недра, 1990. – 245 с.
5. Розенфельд В.Е., Староскольский Н.А. Высокочастотный электрический транспорт. М.: Транспорт, 1978. – 208 с.

6. Математичне моделювання електромагнітних процесів передачі енергії / Г.Г. Півняк, М.Г. Поляков, А.Я. Рибалко, С.О. Сушко; За ред. акад. НАН України Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2003. – 145 с.

7. Ватсон Г.Н. Теория бесселевых функций.– М.: Изд-во иностранной литературы, 1949. – Ч.1. – 798 с.

8. Рыбалко А.Я. Провод для сетей тока повышенной частоты. – Гірнича електромеханіка та автоматика: Науч.- техн. зб. – 2010. – Вип.84.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Заїкою В.Т.
Надійшла до редакції 12.10.10*

УДК 622.333.013.3: 622.272.3

© В. А. Бойко, О. А. Бойко

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ ОПИСАНИИ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ГОРНЫМ МАССИВОМ И ПОТОКОМ ПРОВЕТРИВАЮЩЕГО ГОРНУЮ ВЫРАБОТКУ ВОЗДУХА И РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ НОРМАЛИЗАЦИИ РУДНИЧНОГО МИКРОКЛИМАТА

Розглянуто стан мікроклімату гірничих виробок глибоких шахт Донбасу. Наведено перелік шляхів, що дозволяють скоротити приток тепла у гірничі виробки, і методику розрахунку процесу теплообміну між гірським масивом і потоком повітря, що провірює гірничу виробку. Пропонується вирішувати задачу нормалізації теплових умов у гірничих виробках за рахунок використання води як основного теплоносія для подачі холоду в шахту і виносу тепла гірничих виробок на-гора для використання його як альтернативного джерела енергії.

Рассмотрено состояние микроклимата горных выработок глубоких шахт Донбасса. Приведены перечень путей, позволяющих сократить теплоприток в горные выработки, и методика расчета тепловых параметров процесса теплообмена между горным массивом и потоком проветривающего горную выработку воздуха. Рекомендуется решать задачу нормализации тепловых условий в горных выработках за счет использования воды в качестве основного теплоносителя для подачи холода в шахту и выноса тепла горных выработок на –гора для его использования как альтернативного источника энергии.

The state of microclimate of the mine headings of deep mines of Donbass is considered. The list of measures allowing to shorten heat flows in the mine headings and method of calculation of thermal parameters of process of heat exchange between a mining rocks and stream of air ventilating the mining headings have been proposed. It is recommended to decide the task of normalization of thermal conditions in the mine headings due to the use of water as basic heat carrier for the serve of cold in a mine and bearing-out of heat of the mine headings upon the day surface for his use as an alternative energy source.

Уход горных работ на большие глубины в процессе добычи угля сопровождается ростом горного давления и газообильности угольных пластов и горных пород. Вследствие этого возрастает опасность обрушений горных пород и выделение горючих и взрывчатых газов в атмосферу горных выработок, то есть ухудшается безопасность ведения горных работ. Для борьбы с этими факторами опасности приходится прибегать к новым методам управления горным давлением, частичному изменению технологии горных работ, улучшению вентиляции газовых шахт, применению новых способов борьбы с метаном. Горное

давление и газообильность горных выработок пока не являются непреодолимой преградой на пути добычи угля. Но с ростом глубины ведения горных работ увеличивается естественная температура пород горного массива, растут тепловыделения в горные выработки, что ведет к существенному ухудшению рудничного микроклимата. Высокая температура воздуха в горных выработках и тепловое излучение горных пород не только ухудшают условия труда шахтеров, снижая его производительность, но и создают опасность сердечно-сосудистых заболеваний и гибели шахтеров. Тепловых условий труда в шахтах Донбасса стали основным препятствием не только на пути строительства новых глубоких шахт, но и возможности дальнейшей эксплуатации действующих. Нормализовать тепловые условия труда в горных выработках шахт оказывается возможным только за счет охлаждения горного массива и снижения температуры рудничного воздуха, что сопряжено с необходимостью непрерывной подачи холода в горные выработки глубоких шахт.

Общеизвестно, что температура горных пород возрастает с глубиной по линейному закону:

$$t_h = t_z + \frac{H - h_z}{h_s} \quad (1)$$

Здесь: t_h - естественная температура пород горного массива на расчетной глубине H , t_z и h_z - соответственно глубина и температура зоны постоянных температур, h_s - величина геотермической ступени для данного региона. Поскольку глубина ведения горных работ на 4 шахтах Донбасса уже достигла 1400 м, а геотермическая ступень в основных регионах Донбасса составляет 33-34 м/ $^{\circ}$ C, то естественная температура горных пород на такой глубине составляет 45-50 $^{\circ}$ C. Это привело не только к существенному увеличению температуры воздуха в горных выработках глубоких горизонтов, но и к значительному росту интенсивности инфракрасного облучения шахтеров. Величина последней зависит от абсолютной температуры нагретого (излучающего) и более холодного (облучаемого) тел и определяется зависимостью Стефана-Больцмана. В проводимой горной выработке на глубоком горизонте интенсивность инфракрасного облучения шахтера максимальна во свежевскрытой призабойной зоне, где температура стенки горной выработки достигает естественной температуры массива. Максимальная интенсивность инфракрасного облучения горнорабочего в зависимости от температуры стенки выработки составит:

$$f(T) = \xi \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

Здесь: $T_p = 273 + t_h$ - абсолютная естественная температура горного массива, $T_g = 273 + 36.6$ - абсолютная температура человека, F - площадь облучаемой поверхности человека (принимается равной 1.6 м²), ξ - степень черноты облучаемого объекта. Для указанной глубины интенсивность инфракрасного облучения составит 100-125 Вт. Специальные методы защиты горнорабочих от тепловой радиации пока не нашли применения. Общепринятым способом обеспечения приемлемых для горнорабочего тепловых условий стало охлаждение

воздуха, подаваемого в горные выработки глубоких шахт. В Германии, где геотермическая ступень несколько меньше, чем в Донбассе, естественная температура горных пород 45°C имеет место на глубине 1300 м. Для обеспечения нормируемых тепловых условий в угольных шахтах на такой глубине обеспечивается подача в горные выработки 8-10 млн. Вт холода.

В Украине на момент обретения независимости в шахтах Донбасса действовало 57 систем центрального кондиционирования воздуха. В настоящее время такие системы действуют только на двух шахтах Донбасса – шахте им. А. А. Скочинского и шахте им. А. Ф. Засядько, остальные бесследно исчезли. Украина холодильные установки для систем центрального кондиционирования шахт не производит, но могла бы при наличии валюты приобрести их у Германии и Великобритании. К сожалению, средств на приобретение мощной холодильной техники Украина не имеет. Но даже если бы они были изысканы и такие установки появились на глубоких шахтах Донбасса, то кардинально решить проблему нормализации микроклимата глубоких шахт не смогли бы. Опыт работы глубоких шахт Германии показывает, что возможности решения проблемы нормализации микроклимата с использованием современной холодильной техники и применяемой технологии подачи холода в горные выработки практически исчерпаны. Огромные расходы электроэнергии на кондиционирование воздуха в горных выработках глубоких шахт и высокая стоимость такой техники ложатся тяжелым грузом на себестоимость добываемого угля. Пока Германия решает эту проблему за счет установления для угольных шахт льготных цен на электроэнергию. В Украине также пока имеет место обеспечение шахт электроэнергией по льготным тарифам, но проводимая приватизация энергосистем и шахт начисто устранит такую возможность с вытекающими из этого последствиями прекращения добычи угля в глубоких шахтах, а затем - полного прекращения подземной добычи угля. Понятно, что из-за этого Украина лишится возможности производить чугун, сталь, прокат и ферросплавы по применяемым в стране энергоемким технологиям, что приведет к исчезновению источника валютных поступлений. Украина имеет разведанные запасы угля, достаточные для покрытия ее потребностей в энергоносителях на производство кокса, топлива для тепловых электростанций, синтетического топлива для двигателей внутреннего сгорания, газа для нужд теплоснабжения коммунального хозяйства. Для покрытия всех перечисленных нужд в энергии Украине требуется ежегодно добывать 180-200 млн. тонн угля, а его разведенных запасов в Донбассе хватило бы на 450-500 лет. Сложность решения этой проблемы заключается в том, что предельная глубина залегания разведенных запасов угля составляет 1850 м, где естественная температура горных пород достигает $72-75^{\circ}\text{C}$, а вести горные работы в условиях таких температур при существующих системах и средствах нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт не представляется возможным. Применяемые способы и средства нормализации тепловых условий в глубоких шахтах в какой-то степени еще могут быть улучшены, но рассчитывать на повышение их технико-экономических показателей нет оснований. Положение может существенно улучшиться, если тепло горного массива будет рассматриваться как альтернативный источник энергии,

а не как враг, с которым неизбежно нужно бороться. Требуется пересмотреть основы концепции нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт и решать эту проблему с позиций комплексного использования энергоносителей Земли - ее минеральных источников, запаса энергии Земли как нагретого тела, а также энергии, выделяемой в результате непрерывно текущих в толще Земли процессов радиоактивного распада. Понятно, что не все аспекты проблемы в такой постановке решены и поэтому их нужно решать в дальнейшем. Причина этого кроется в том, что процессы теплообмена в горном массиве сложны по своей природе. Передача тепла в горном массиве, как и в любом физическом объекте, осуществляется теплопроводностью и описывается уравнением Фурье:

$$dQ = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial n} \cdot dF \quad (3)$$

Здесь: dQ – количество теплоты, переносимое в единицу времени через элемент изотермической поверхности площадью dF , $\frac{\partial t}{\partial n}$ – градиент температуры, λ – коэффициент теплопроводности горных пород. Однако процесс теплопереноса в горном массиве происходит в огромных объемах горных пород и характеризуется изменением температуры в пространстве и времени. Зависимость между пространственным и временным изменением температуры в любом теле, включая и горный массив любой конфигурации и размеров, определяется дифференциальным уравнением теплопроводности:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t + \frac{q_v}{\rho \cdot c} \quad (4)$$

Здесь: $a = \lambda / \rho \cdot c$ – коэффициент температуропроводности, ρ и c – соответственно плотность и теплоемкость теплопроводящего тела, ∇ – оператор Лапласа для соответствующей системы координат, q_v – мощность источника внутреннего тепловыделения. Система координат для длинной выработки, как правило, принимается цилиндрической, для призабойной части тупиковой выработки – сферической. Независимо от принятой системы координат, уравнение теплопроводности, описывающее зависимость между пространственным и временным изменением температуры горного массива, будет дифференциальным уравнением второй степени в частных производных.

Решение дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных представляет сложную задачу. Над ее решением успешно работали советские ученые Лыков А. В. [1], Лурье А. И. [2] и многие другие специалисты в области математики и термодинамики. Применительно к задачам угольной промышленности огромный объем исследований выполнен ведущими учеными Украины академиками А. Н. Щербанем и О. А. Кремневым [3,4], разработавшими научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Теоретический уровень этих работ значительно опережает реальный уровень практических работ в Украине в области создания систем и средств нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт в период их строительства и последующей эксплуатации. Не составляет тайны, что при-

чины этого кроются не только в технической отсталости Украины, но и в недостаточном уровне математической подготовки специалистов научно-исследовательских подразделений и инженерных кадров горнодобывающей промышленности. Слишком сложным для усвоения научно-технической общественностью угольной промышленности Украины оказался аналитический аппарат расчетов регулирования теплового режима глубоких шахт, а перспективы решения этой чрезвычайно актуальной для страны задачи в условиях отсутствия современной технической базы кондиционирования воздуха в шахтах кажутся безнадежными.

Авторы настоящей работы не ставят перед собой задачу разработать более простую и доступную для понимания и применения математическую модель и методику решения задач расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт, поскольку такой шаг был бы попыткой профанации научных наработок и оскорблением памяти наших учителей. Но существенные изменения в уровне аппаратного обеспечения сложных научных задач и инженерных обоснований за счет появившейся в последние годы компьютерной техники и безвыходное положение с приобретением и использованием современной зарубежной техники кондиционирования воздуха в глубоких шахтах заставляют попробовать показать заинтересованным лицам, что имеется возможность на базе научных наработок школы акад. А. Н. Щербаня вести поиск доступных для реализации в современных неблагоприятных условиях путей и средств выхода из создавшегося положения. Финансирование на науку и решение проблем угольной промышленности страны отсутствует, но есть талантливые неравнодушные специалисты, способные найти доступные способы и средства решения актуальной задачи обеспечения нормального микроклимата глубоких шахт, что позволит создать безопасные условия труда в глубоких угольных шахтах Украины. Нам представляется целесообразным конспективно изложить некоторые соображения о возможных путях решения этих задач, что ускорит и облегчит работу тех энтузиастов, которые возьмутся за дело. Ниже приводятся некоторые из них.

1. Выше уже упоминалось о том, что возможности современных применяемых схем и средств кондиционирования воздуха в шахтах практически исчерпаны. Обусловлено это малой теплоемкостью воздуха и его подверженностью нагреву из-за адиабатического сжатия. Но почему в таком случае не передать основные функции доставки холода в глубокую шахту и выноса тепла из нее воде, имеющей в 4000 раз большую теплоемкость и практически не подверженной нагреву из-за сжатия?!

2. В случае передачи воде значительной части функций по доставке холода в горные выработки глубокой шахты отпадает необходимость приобретения или создания мощных холодильных машин, пригодных для эксплуатации в шахте. С задачей выработка холода могут справиться находящиеся на дневной поверхности мощные аммиачные холодильные машины, обеспечивающие охлаждение пищевых продуктов в хранилищах мясокомбинатов, торговых предприятий, а также мощные холодильные бромисто-литиевые абсорбционные ус-

тановки химических комплексов. Такая техника в Украине производится либо более доступна.

3. Использование воды в качестве средства доставки холода и выноса нагора шахтного тепла позволяет начать решение задачи использования тепла недр Земли как альтернативного источника энергии для обеспечения нужд инфраструктуры шахты, в том числе и для снижения расхода электроэнергии на производство холода. При достаточно больших объемах извлекаемого из шахты тепла после повышения его потенциала на основе использования теплового насоса появляется возможность использовать его для нужд энергетики.

4. Наши расчеты показывают, что применение воды в качестве холодоносителя открывает возможность не только создать благоприятные климатические условия в подготовительных забоях проводимых горных выработок, но и ускоренными темпами формировать теплоуравнивающие рубашки вокруг горных выработок, что влечет за собой существенное снижение теплопритоков из окружающего породного массива в горную выработку и, соответственно, значительно снижает потребность в холоде на нормализацию тепловых условий в горных выработках [5,6].

5. Представляет интерес разработка технологических схем проведения горных выработок с опережающим забой подготовительной выработки охлаждением горного массива по трассе проходки [7].

6. Тепло горных выработок (включая сюда не только тепло горного массива, но и произведенное при работе горных машин и механизмов и выделившееся за счет окислительных процессов в горных выработках) может быть использовано для регулирования проветривания шахты за счет использования естественной тяги.

7. Создание комбинированной системы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт за счет доставки холода водой и проветривающим шахту воздухом открывает перспективу снижения температуры горного массива нижележащего подготавливаемого горизонта.

8. При разработке научных основ расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт школой акад. А. Н. Щербаня основное внимание уделено процессам теплообмена проветривающего горные выработки воздуха, а теплообменные процессы оросительного охлаждения стенок выработок водой практически не рассмотрены. Наши расчеты показывают высокую эффективность такого способа теплоотвода, что особенно важно для сокращения времени охлаждения горного массива при проведении горных выработок.

Ниже приведены представляющие интерес некоторые сведения по методике компьютерных расчетов теплообменных процессов с использованием аналитического аппарата школы А. Н. Щербаня и некоторые результаты расчетов по оросительному охлаждению стенок горной выработки водой.

При разработке научных основ расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт[3,4] применительно к нормализации микроклимата проводимой горной выработки принят ряд упрощающих допущений:

- температура охлаждающего стенки выработки воздуха принимается неизменной во времени. Влияние ее изменения во времени учитывается поправ-

ками к коэффициенту нестационарного теплообмена при неизменной температуре воздуха;

- ввиду незначительного, составляющего сотые доли градуса на метр длины, изменения температуры горной выработки по длине расчет коэффициента теплообмена производится по величине тепловыделений для усредненных температур;

- влияние осевого градиента температур является пренебрежимо малым. Хотя выработка рассматривается как бесконечно длинный цилиндр, теплообмен в ней по сути сводится к таковому лишь по одной координате - перпендикулярно к оси выработки по ее радиусу R ;

- горный массив рассматривается как изотропное изотермическое тело.

С учетом приведенных выше допущений система дифференциальных уравнений принимает вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial t}{\partial R} \right) \quad (5)$$

$$t = t_n \text{ при } \tau = 0; \quad (6)$$

$$t \rightarrow t_n \text{ при } R \rightarrow \infty, \quad \tau > 0; \quad (7)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial R} - \alpha \cdot (t - t_n) = 0 \text{ при } R = R_0 = \frac{2 \cdot F}{U} \quad (8)$$

Здесь: (5)-дифференциальное уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах,

(6) - закон начального распределения температур в горном массиве, (7) - условие неограниченности массива в радиальном направлении и (8) - закон теплообмена поверхности выработок с воздушной струей при $t_n = \text{const}$. R_0 - эквивалентный радиус выработки площадью сечения F и периметром U .

Для получения конечных зависимостей в безразмерном виде, определяющих относительную температуру любой точки массива в любой момент времени, использована безразмерная температура, определяемая выражением

$$\vartheta = \frac{t - t_s}{t_n - t_s} \quad (9)$$

В этом случае дифференциальное уравнение (5) и краевые условия (6)-(8) принимают вид:

$$\frac{\partial \vartheta}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 \vartheta}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial \vartheta}{\partial R} \right]; \quad (10)$$

$$\vartheta = 1 \text{ при } \tau = 0; \quad (11)$$

$$\vartheta > 1 \text{ при } R \rightarrow \infty, \quad \tau > 0; \quad (12)$$

$$-\lambda \frac{\partial \vartheta}{\partial R} - \alpha \vartheta = 0 \text{ при } R = R_0. \quad (13)$$

Для решения дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных применяется метод преобразования Лапласа, основные положения которого изложены в упоминавшихся выше работах [1] и [2] и руководствах по операционному исчислению [8]. Сущность метода заключается в приведении дифференциального уравнения в частных производных от R и τ к обыкновен-

ным дифференциальным уравнениям от R путем замены функции $f(\tau)$ ее изображением $T(s)$:

$$T(s) = \int_0^{\infty} f(\tau) \cdot e^{s\tau} d\tau \quad (14)$$

Показатель степени s в равенстве (14) есть переменная Лапласа. Изображения функции от R и τ . Первой и второй ее частных производных по R равны соответственно функции $T_{R,s}$, первой и второй ее производной по R :

$$[\mathcal{G}(R, \tau)] = T_{R,s}; \quad \left[\frac{\partial \mathcal{G}(R, \tau)}{\partial R} \right] = \frac{dT_{R,s}}{dR}; \quad \left[\frac{\partial^2 \mathcal{G}(R, \tau)}{\partial R^2} \right] = \frac{d^2 T_{R,s}}{dR^2} \quad (15)$$

Изображения для значительного числа функций, встречающихся на практике, приведены в работах [1], [2]. Решение уравнений, составленных из изображений функций, сводятся к решению дифференциального уравнения от одной переменной R . Переход от полученного решения $T(s)$ к оригиналу осуществляется по таблицам, если получено его табличное решение, либо с помощью теоремы разложения, если решение для изображения представляет собой отношение полиномов, удовлетворяющее определенным условиям [2]. Если после выполнения перечисленных выше операций решение не получено, то придется прибегнуть к решению общего для перехода от изображения к оригиналу интеграла

$$\mathcal{G}(R, \tau) = \frac{1}{2\pi \cdot i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} e^{s\tau} T_{R,s} ds \quad (16)$$

Замена в уравнениях (10)-(13) температурных функций их изображениями дает

$$a \frac{d^2 T}{dR^2} + a \frac{1}{R} \frac{dT}{dR} - sT + 1 = 0; \quad (17)$$

$$T = \frac{1}{s} \text{ при } R \rightarrow \infty, \tau > 0 \text{ и при } \tau = 0; \quad (18)$$

$$-\lambda \frac{dT}{dR} + \alpha T = 0 \text{ при } R = R_0. \quad (19)$$

Выражение (17) есть уравнение Бесселя с мнимым аргументом, которое подстановкой $T = u + \frac{1}{s}$, $\frac{s}{a} R^2 = x^2$ приводится к виду

$$x^2 u'' + x u' - x^2 = 0. \quad (20)$$

Решением такого уравнения есть бесселевы функции мнимого аргумента первого и второго рода нулевого порядка.

Выполняющие тепловые расчеты горные специалисты, как правило, не владеют аппаратом этих математических операций, но это не должно пугать и останавливать лиц, хорошо знакомых с компьютерной техникой. Применение современных компьютерных систем MathCAD, MathLAB или MAPLE позволит им получить численные значения инженерных тепловых расчетов в горных выработках не прибегая к тонкостям операций математических преобразований при решении дифференциальных уравнений в частных производных. Изъявившие желание глубже вникнуть в сущность процесса перехода от изображения к

оригиналу температурной функции при выполнении тепловых расчетов в горных выработках глубоких шахт отсылаются к работам [2,4], в которых детально изложен этот вопрос.

Специалистам, желающим получить конкретные результаты инженерных расчетов параметров тепловых процессов в горных выработках, не вникая в тонкости высшей математики, рекомендуется воспользоваться конечной зависимостью для определения относительной безразмерной температуры стенок горных выработок, приведенной в [4]:

$$\vartheta_{cm} = \frac{4}{\pi^2 \cdot Bi} \int_0^{\infty} \frac{e^{-\mu^2 Fo} d\mu}{\mu \left[I_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} I_1(\mu) \right]^2 + \mu \left[Y_0(\mu) + \frac{\mu}{Bi} Y_1(\mu) \right]^2}. \quad (21)$$

Здесь: $Fo = \frac{a \cdot \tau}{R_0^2}$ - число гомохронности (Фурье), $Bi = \frac{\alpha \cdot R_0}{\lambda}$ - число граничных условий (Био), $\mu = R_0 \cdot \sqrt{\frac{s}{a}}$, s - переменная интегрирования при замене функции $f(\tau)$ ее изображением $T(s)$ в уравнении (14), $I_0(x), I_1(x), Y_0(x), Y_1(x)$ - бесселевы функции первого и второго рода от действительного аргумента нулевого и первого порядка.

Авторы статьи для определения параметров процессов теплообмена горного массива и воздушного потока в горной выработке, а также при охлаждении горных пород за счет орошения стенок выработки водой и применения потока воды в скважине, опережающей забой подготовительной выработки, применяют систему MathCAD 11 Enterprise Edition, а для подсчета выноса тепла при формировании теплоуравнивающей рубашки, требующей большого объема циклических вычислений, программу, основанную на применении C++.

Выводы

1. Разведанные запасы угля в украинской части Донбасса достаточны для обеспечения потребностей страны на протяжении 450-500 лет, однако извлечение этих запасов требует решения проблемы борьбы с высокими температурами горных пород, достигающими 45°C в зоне действующих шахт и 75°C на нижней границе залегания угольных пластов.

2. Тепловые условия в горных выработках действующих глубоких шахт Донбасса за годы независимости резко ухудшились из-за исчезновения на 55 шахтах систем центрального кондиционирования. Восстановить их невозможно ввиду отсутствия производства в стране требующейся холодильной техники и средств на приобретение ее за рубежом.

3. Работа горняков в горячих забоях сопряжена с неизбежным ухудшением их здоровья и гибелью от нарушений сердечно-сосудистой системы.

4. Нормализация тепловых условий в горных выработок глубоких шахт Донбасса является необходимым условием обеспечения возможности ведения работ по дальнейшей добыче угля в действующих глубоких шахтах и строительства новых глубоких шахт Донбасса.

5. При отсутствии средств на науку и приобретение холодильной техники для нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт последняя может быть осуществлена за счет применения нетрадиционных для шахтных условий способов подачи холода в горные выработки и сокращения притока тепла из массива горных пород путем использования воды в качестве холоданосителя.

6. Предлагается привлечь для решения задач обеспечения нормальных тепловых условий в горных выработках шахт научно-техническую общественность угольной промышленности Украины.

7. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт разработаны, однако их аналитический аппарат сложен и труднодоступен. Рекомендуется для решения прикладных задач нормализации тепловых условий в горных выработках шахт использовать современные компьютерные математические системы.

8. Для облегчения работы энтузиастов, изъявивших желание участвовать в решении проблемы нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт, приведены основные положения методики расчета параметров теплообмена между горным массивом и потоком проветривающего горную выработку воздуха, разработанной школой акад. А. Н. Щербаня.

Список литературы

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности. - М.: Высшая школа, 1967. -600 с.
2. Диткин В. А., Прудников А.П. Операционное исчисление. – М.: Высшая школа, 1975.-407 с.
- 3 Щербань А. Н., Кремнев О. А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том 1,2. Издат. АН УССР, Киев, 1959. - 430 с, 1960.-348 с.
4. Кремнев О. А., Журавленко В. Я. Тепломассообмен в горном массиве и подземных сооружениях. – К.: Наукова думка, 1986.-342 с.
5. Бойко В. А., Бойко О. А. Разработка способа и средств формирования теплозащитной оболочки горных выработок глубокой шахты и оценка влияния ее параметров на теплоприток из горного массива. Материалы международной конференции “Форум горняков 2009”, секция “Рудничная аэробиология и безопасность труда”, с.57-73, Дн-ск, НГУ, 2009.
6. Бойко В. А., Бойко О. А. Способ и средства нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт в период их строительства. Збірник наукових праць НГУ №32.- 2009.- Дніпропетровськ: НГУ.- С.214-225.
7. Бойко В. А., Бойко О. А. Проблема нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса, способы и средства ее решения. Материалы международной конференции “Форум горняков 2009”, секция “Строительство шахт и подземных сооружений”, с.142-153, Дн-ск, НГУ, 2009.
8. Лурье А. И. Операционное исчисление и его приложение к задачам механики. – М.-Л.: Гостехиздат, 1950. -432 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 22.09.10*

АСПЕКТЫ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ НОРМАЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВЫХ УСЛОВИЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ГЛУБОКИХ ШАХТ ДОНБАССА В ПЕРИОД ИХ ПРОХОДКИ

Виконано оцінку теплових умов гірничих виробок глибоких шахт Донбасу і вказано причини їх погіршення. Викладено нову концепцію вирішення проблеми нормалізації мікро-клімату гірничих виробок глибоких, наведено результати попередніх теплових розрахунків, що ґрунтуються на використанні рівнянь математичної фізики. Основну увагу приділено розрахункам охолодження для схеми зі свердловиною, що випереджає вибій підготовчої виробки.

Проведена оценка тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса и указаны причины их ухудшения. Изложена новая концепция решения проблемы нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт, приведены результаты предварительных тепловых расчетов, базирующиеся на использовании уравнений математической физики. Основное вниманиеделено расчетам охлаждения для схемы со скважиной, опережающей забой подготовительной выработки

The estimation of the thermal conditions in the mine workings in deep mines of Donbass and the reasons for their deterioration. Presented a new concept of solving the problem of normalization of the microclimate of mine workings in deep mines and the results of preliminary thermal calculations, based on the equations of mathematical physics. Emphasis is placed on the calculations for the cooling circuit from the bore hole, production advanced slaughtering preparations.

Переживаемый мировым сообществом экономический кризис еще раз подтвердил, что для страны с устаревшими энергоемкими технологиями производства, какой является Украина, главным препятствием на пути роста национального валового продукта и улучшения материального благосостояния населения страны является отсутствие необходимого количества энергоносителей. Украина оказалась крупными должником Международного валютного фонда и продолжает занимать валюту, основная часть которой уходит на оплату приобретаемого природного газа, угля и нефти. Попытки сократить потребление природного газа привели к несомненным успехам, ибо объем потребления его по сравнению с советскими временами сократился практически наполовину, тем не менее финансовая ситуация не претерпела существенных изменений из-за значительного роста цены газа. Крупных работ по разведке и развитию добычи природного газа Украина не производит, вследствие чего за последние годы объем добычи природного газа на территории страны сократился почти на 3 млрд. кубометров в год и покрывает даже при существенно урезанном потреблении газа промышленностью лишь около 20% потребности народного хозяйства. Основная масса потребляемой страной нефти практически полностью покупная, что не вызывает удивления, поскольку на момент приобретения независимости разведанные запасы нефти на ее территории составляли лишь 230 млн. тонн, а годовое потребление с учетом переработки нефти на экспорт достигало

38 млн. тонн. Самые существенные изменения в динамике энергоносителей в стране произошли с углем. Если в начале 70-х прошлого столетия Донбасс достиг рекордного уровня добычи угля в 218 млн. тонн, то уже к моменту приобретения независимости он упал до 174 млн. тонн, а за последовавшие 19 лет снизился до 70 млн. тонн. Потребление угля промышленностью страны при этом не претерпело существенных изменений, поскольку производство чугуна, стали и проката, являющихся основными статьями экспорта Украины, не сократилось. Это привело к тому, что Украина вынуждена покупать уголь за рубежом - у Польши, России, Германии. Прошедший год ознаменовался чрезвычайным событием: Украина в лице СКМ стала собственником угольного объединения с годовой добычей угля 7 млн. тонн на территории США. Парадоксальным фактом такого события является наличие разведанных еще полстолетия назад запасов угля в Донбассе более 100 млрд. тонн, достаточных для того, чтобы полностью обеспечить потребности Украины в энергоносителях на ближайшие 5 столетий. Следует, однако, заметить, что проблема добычи угля в Донбассе за годы независимости страны существенно осложнилась. Развал СССР привел к тому, что заводы горного машиностроения Украины оказались неспособными обеспечить производство техники, необходимой для нормальной работы шахт, шахтный фонд значительно устарел, горные работы ушли на значительную глубину, что сопровождалось ростом температуры горных пород. В то же время произошло разграбление доставшихся в наследство от СССР систем центрального кондиционирования шахт: на момент обретения независимости таких систем действовало⁵⁷, а в настоящее время осталось лишь 2 - на шахте им. А. А. Скочинского и на шахте им. А. Ф. Засядько. В итоге на ряде глубоких шахт Донбасса температура горных пород достигла 45⁰C, что практически исключило возможность ведения горных работ в них. В Германии такая температура горных пород имеет место на глубине 1300 м, но нормализацию тепловых условий на глубоких горизонтах обеспечивают мощные холодильные установки, обеспечивающие подачу в шахту 8-10 млн. Вт холода. Украина такой холодильной техники не производит и из-за отсутствия валюты не имеет возможности приобрести ее за рубежом.

Следует упомянуть еще один существенный путь решения проблемы энергоносителей – использование атомной энергетики. Украина обладает достаточными разведенными запасами урановых руд на территории Днепропетровской и Кировоградской областей и могла бы существенно увеличить производство электроэнергии на атомных электростанциях. Но для этого необходимо построить новые АЭС или добавить блоки на действующих и обеспечить их теплообразующими элементами. Уранодержащую и циркониевую руду Украина добывает, производит циркониевый прокат и первичную обработку окисленных урановых руд, но все это передается России, которая осуществляет производство ТВЭЛОв для нужд собственных АЭС и для поставки в Украину. Отсутствие собственных хранилищ отработанных ТВЭЛОв и предприятия по их производству ведет к сильному удорожанию производства электроэнергии на АЭС Ук-

раины, но пока в обозримом будущем производство оборудования для строительства АЭС и ТВЭлов для действующих реакторов не предусматривается.

В сложившихся условиях проблема обеспечения Украины энергоносителями на современном этапе может решаться за счет существенного увеличения добычи угля, перевода на уголь всех действующих электростанций, строительства теплоцентралей, освоения энерготехнологических технологий переработки угля для получения горючих газов и синтетического топлива для двигателей внутреннего сгорания. Для этого нужно строить новые шахты и вести добычу угля на более глубоких горизонтах. Понятно, что в условиях развала экономики страны при современном состоянии угольной промышленности и технологии ведения горных работ задача обеспечения приемлемых условий для ведения горных работ на глубоких горизонтах существующих шахт чрезвычайно усложнилась, а проблема строительства и эксплуатации глубоких шахт представляется трудно решаемой, энергоемкой и экономически нецелесообразной. Надо полагать, здесь кроются истоки предпринимаемых правительством новых шагов по дальнейшему сокращению числа шахт в государственной собственности и выставление на приватизацию очередных 29 шахт Донбасса. С традиционно установленнойся точки зрения на шахту как на предприятие, обеспечивающее добычу угля, такое решение вполне оправдано. Действительно, существенно изменившиеся с ростом глубины ведения работ горно-геологические условия привели к значительному возрастанию расхода электроэнергии на вентиляцию, водоотлив, подъем и транспорт, а возросшее горное давление привело к удорожанию поддержания горных выработок. Фактор роста температуры горных пород и тепловыделений в горные выработки рассматривается как вредный, ухудшающий условия труда, снижающий его производительность и расточительный по расходам на вентиляцию и кондиционирование воздуха для обеспечение нормируемых санитарными нормами и Правилами безопасности в угольных шахтах параметров рудничного микроклимата. Находиться в условиях высоких температур воздуха и интенсивного инфракрасного излучения и вести работы по добыче угля человек не может, способной заменить шахтера робототехники в обозримом будущем на Украине не будет создано, а без добычи угля невозможно получить энергоносители для электростанций, котельных, сырье для коксохимии и топливо для населения. Это вынуждает искать приемлемые пути решения проблемы добычи угля на больших глубинах. Одним из таких путей является использование тепла горного массива на больших глубинах. Но для этого необходимо рассматривать шахту как энергетический комплекс и соответственно изменить технологию ведения работ по извлечению энергии.

Общеизвестно, что в недрах Земли постоянно идут термоядерные процессы, в результате которых выделяется огромное количество тепла. Б. Гутенберг [1] оценивает энергию постоянно излучаемого в космос теплового потока Земли величиной в $8 \cdot 10^{20}$ Дж/год, эквивалентной тепловой энергии от сжигания 19 млрд. тонн нефти. Из-за наличия теплового потока из недр Земли температура горных пород твердой оболочки Земли (литосферы) возрастает с глубиной.

Слагающие литосферу горные породы неодинаковы по минеральному составу, но имеют температуру плавления порядка 1300°C , поэтому полагают, что толщина твердой оболочки значительной части Земли составляет около 50 километров. Разведанные в Донбассе запасы угля залегают на глубинах до 1800 м, а измеренная при разведочном бурении температура горных пород на такой глубине достигает 75°C . Шахтное поле современной угольной шахты имеет размеры длиной до 5000 м в (горный термин - «по постианию») и шириной порядка 2500м («по падению»). Площадь горного отвода такой шахты составляет около 12 квадратных километров. Объем горных пород в пределах горного отвода составляет порядка 14 млрд. m^3 , а запас содержащегося в нем избыточного сверх температуры $+26^{\circ}\text{C}$ тепла 172 трлн. ккал. Для получения такого количества тепла необходимо сжечь около 25 млн тонн условного топлива. На крупной шахте в зимнее время проветривающий шахту воздух за сутки воздух выносит из горных выработок на дневную поверхность до 900 млн ккал тепла. Огромное количество тепла поглощает испаряющаяся шахтная вода. Объем воды, испаряющейся за сутки в горных выработках крупной шахты, составляет до 800-900 кубометров, а количество вынесенного ею на дневную поверхность тепла достигает 400 млн. ккал. Внушительные по величине количества тепла, выносимые из шахты проветривающим горные выработки воздухом, дают некоторое представление об интенсивности охлаждения горного массива и количестве бесполезно выбрасываемого в окружающую среду тепла. Выбрасываемые в атмосферу на дневной поверхности суточные объемы прошедшего через сеть горных выработок воздуха достигают на крупной газовой шахте 70-80 млн. кубометров, но содержащееся в них тепло нигде не используется из-за низкого температурного потенциала и отсутствия доступной техники и технологии извлечения тепла из такой огромной массы воздуха. Совершенно иная картина имеет место, если шахтное тепло выносится на-гора водой. Во-первых, объемная теплоемкость воды превышает таковую для воздуха в почти в 4000 раз. Во-вторых, температурный потенциал выдаваемой из шахты воды может быть значительно больше такового для воздуха ибо вода может выдаваться по теплоизолированным трубопроводам и не оказывать влияния на находящихся в шахте горнорабочих, в то время как температура воздуха ограничена требованием их пребывания и работы в воздушной среде. Исходя из требований санитарных норм, даже в зимнее время, когда температура воздуха на дневной поверхности опускается до -35°C , максимальный прирост температуры воздуха за счет его нагрева в глубокой шахте не может превышать $8-12^{\circ}\text{C}$, поскольку из условий предотвращения аварий подъемных установок из-за обмерзания проводников и расстрелов подаваемый в шахту воздух должен быть подогрет калориферной установкой до температуры не ниже $+2^{\circ}\text{C}$. Опускание воздуха до околосвольного двора действующего горизонта даже при идеальной теплоизоляции стенок воздухоподающего ствола приводит к его нагреву из-за адиабатического сжатия на 1°C на каждые 100 м прироста глубины.

Следовательно, температура поступающего для проветривания горных работ шахты свежего воздуха на глубине 1400 м уже может достичь 16°C и до

допустимых санитарными нормами и Правилами безопасности в угольных шахтах 26°C во всех выработках, где находятся горнорабочие, остается всего 10°C . В то же время контактирующая со стенками горных выработок вода будет иметь температуру лишь на $1\text{-}2^{\circ}\text{C}$ меньше, чем температура горных пород, и для глубины 1400м прирост температуры воды, подаваемой с температурой $+2^{\circ}\text{C}$, может составить $40\text{-}42^{\circ}\text{C}$, то есть по эффективности выноса тепла горного массива кубометр воды заменит минимум 16000 кубометров воздуха. На предельных глубинах разработки угольных пластов Донбасса температура охлаждавшей горный массив воды может достигать 70°C , что соответствует по эффективности тепловыноса минимум 28000 кубометрам подаваемого в шахту воздуха в зимнее время. Попутно заметим, что нагретая до температуры $+60^{\circ}\text{C}$ вода является теплоносителем отопительных систем зданий и сооружений, то есть выносимое из шахты тепло может быть использовано для инфраструктуры на дневной поверхности, обогрева теплиц и парников, а при применении системы теплового насоса - и для целей перегрева воды, получения пара и производства электроэнергии. Приведенные применительно к выносу тепла водой параметры полностью сохраняются при доставке холода в горные выработки и имеют неоспоримое преимущество, заключающееся в том, что вода является практически несжимаемой средой и поэтому не подвержена нагреву из-за адиабатического сжатия, хотя прирост гидростатического давления для глубины ведения горных работ 1600-1700 м составит 17-18 МПа. Если к этому добавить обеспечивающее участием воды в процессе теплообмена повышение коэффициента теплоотдачи, превышающее на 1-2 порядка таковой для воздуха при орошении стенок горных выработок и на 2-3 порядка при омывании их водой, то преимущества применения воды в качестве тепло- и холодоносителя при нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт оказываются неоспоримыми [2]. Отрицательным фактором при использовании воды в качестве переносчика тепла и холода является наличие высокого давления в трубопроводах. Применение разомкнутой схемы подачи воды на глубокие горизонты требует применения насосов высокого давления и сопряжено с большим расходом энергии. Использование замкнутой системы циркуляции воды для подачи холода в шахту и выноса тепла на дневную поверхность требует применения дополнительных устройств - вспомогательных теплообменников, что в значительной степени снижает энергопотребление, но не снимает требований применения трубопровода высокого давления.

Приведенные выше сведения, относящиеся к системе извлечения тепла горного массива и доставки холода в шахту, должны приниматься во внимание при решении проблемы добычи угля на больших глубинах. При проведении научного поиска и научно-исследовательских работ необходимо учитывать следующие моменты:

- существующая технология и техника создания нормальных тепловых условий в глубоких шахтах за счет применения системы охлаждения воздуха и выноса тепла горного массива проветривающим горные выработки воздухом

уже практически исчерпала свои возможности и становится экономически нецелесообразной;

- удаляемое из шахты рудничным воздухом тепло практически невозможно извлечь на выходе из шахты из-за огромного расхода воздуха на проветривание шахты и низкого его температурного потенциала:

- основные функции доставки холода в горные выработки шахты и выноса тепла горного массива из шахты должны быть переданы воде, объемная теплоемкость которой в 4000 раз выше таковой для воздуха;

- большая глубина шахт при применении разомкнутых систем подачи охлажденной и нагретой воды повлечет большие расходы электроэнергии на ее циркуляцию, поэтому система должна быть замкнутой объединенной, выполняющей обе функции;

- выносимое нагретой в шахте водой тепло должно быть использовано как источник энергии для нужд инфраструктуры и производства холода, подаваемого в шахту.

Принимая во внимание приведенные выше моменты, следует ориентироваться на создание системы нормализации тепловых условий в горных выработках, использующей в качестве холода- и теплоносителя один и тот же поток воды, доставляющий в шахту холод, полученный от работающей на дневной поверхности холодильной установки (а в холодный период года - естественный холод) и выносящий на дневную поверхность тепло горного массива. Требование экономичности транспортирования тепла и холода диктует необходимость применения высокопрочного U-образного трубопровода, снабженного на горизонте действующего околосвального двора двумя водяными теплообменниками: на входе свежей струи - теплообменником съема холода и на выходе исходящей - теплообменником передачи тепла циркулирующему в трубопроводе потоку воды. Такая схема исключает необходимость применения насосов высокого давления и обеспечивает движение потока воды в трубопроводе лишь за счет работы небольшого насоса на входе в трубопровод на дневной поверхности, создающего перепад давления, достаточный для преодоления сопротивления трения воды о стенки трубопровода. Понятно, что на дневной поверхности с трубопроводом подачи воды должны быть сопряжены два комплекса - комплекс приема горячей воды и использования вынесенного из шахты тепла и комплекс охлаждения воды и подачи ее в трубопровод. Поскольку оба эти комплексы располагаются на дневной поверхности шахты, где поток воды разомкнут и открыт, то основные требования к их оборудованию будут заключаться в обеспечении качественной термоизоляции для исключения потерь тепла и холода соответственно.

Предлагаемая схема холодоснабжения шахты снимает требования применения специальных холодильных машин и может быть реализована на производимых в Украине мощных холодильных машинах общепромышленного применения, предназначенных для предприятий химической, пищевой и других отраслей промышленности. Понятно, что монтируемый в стволах шахты тру-

бопровод подачи тепла и холода наряду с высокой прочностью должен иметь качественную термоизоляцию.

Подземная часть системы нормализации тепловых условий в горных выработках глубокой шахты должна обеспечить охлаждение воздуха в горных выработках до требуемых Правилами безопасности в угольных шахтах норм. Для выполнения этой функции требуется обеспечить вынос тепла, выделяющегося из окружающих горные выработки нагретых горных пород, образующегося при технологических процессах добычи угля и за счет окислительных процессов, а также за счет адиабатического процесса сжатия поступающего в шахту воздуха. Общепринятая в мировой практике добычи угля в глубоких шахтах система нормализации тепловых условий в горных выработках эти функции возлагает на охлажденный воздух, проветривающий сеть горных выработок. Для глубоких газовых шахт количество воздуха, подаваемого в горные выработки из условия обеспечения нормируемого безопасного содержания метана в горных выработках, огромно, но недостаточно для создания требуемых параметров микроклимата. Расчеты показывают, что даже при применении блочной системы подготовки шахтного поля с наличием в каждом блоке стволов диаметром 8 м для свежей и исходящей струй при подаче охлажденного до $+2^{\circ}\text{C}$ воздуха при предельно допустимой скорости движения воздуха 8 м/с для выноса на-гора избыточного сверх температуры $+26^{\circ}\text{C}$ тепла горного массива при предельной глубине отработки разведенных угольных пластов 1750 м потребуется проветривать горные выработки на протяжении периода 270 лет. Нерационально исключить функции отвода тепла горнорабочего за счет кондуктивного и конвективного теплообмена с воздухом и доставки холода в рабочее пространство горных выработок, частичное охлаждение горного массива и вынос тепла на дневную поверхность. Но подача воздуха должна решать лишь часть общей задачи теплообмена, охлаждения горного массива и выноса тепла, то есть ее функция должна быть вспомогательной в пределах подаваемого в шахту количества воздуха, необходимого по газовому фактору.

Огромные поверхности горных выработок глубоких шахт создают дополнительные трудности и повышают стоимость нормализации тепловых условий в горных выработках. Если бы поверхность этих выработок имела температуру ниже нормируемой для обеспечения приемлемых условий труда шахтеров, то, во-первых, существенно сократился бы приток тепла из горного массива в объем горных выработок, во вторых, значительно уменьшилась интенсивность инфракрасного облучения горнорабочих. Выработки имеют форму, приближающуюся к цилиндрической, при расчетах интенсивности инфракрасного облучения выработку любой формы пересчитывают в эквивалент цилиндра. А интенсивность облучения подсчитывают по формуле Стефана-Больцмана. Расчетная поверхность шахтера принимается равной 1.6 кв. метра, угловой коэффициент облучения и степень черноты - равными единице. В условиях, когда температура стенок горных выработок равна максимальной нормируемой §621 Правил безопасности в угольных шахтах температуре воздуха ($+26^{\circ}\text{C}$) оказывается, что шахтер сам является источником инфракрасного излучения и излу-

чает в окружающее его пространство тепловой поток мощностью около 100 Вт. Но свежевскрытые горные породы и угольные пласты имеют температуру, близкую к естественной температуре горного массива на данной глубине, и, если она превышает температуру тела человека, то он становится объектом облучения. Расчеты показывают, что в шахте Донбасса на глубине 1700 м естественная температура горных пород достигает 70°C , а интенсивность облучения - гибельной для человека величины 400 Вт. Поэтому наряду со снижением температуры воздуха до нормируемой величины необходимо решать вопрос с защитой шахтеров от теплового облучения, а эта проблема обычной вентиляцией выработок даже переохлажденным воздухом не решается, поскольку процесс охлаждения горного массива является медленно текущим и длительным. Поэтому при добыче полезных ископаемых на больших глубинах шахтным способом наряду с решением проблемы снижения температуры воздуха потребуется решать задачу защиты горняков от инфракрасной радиации. Опыт ФРГ показывает, что даже наличие выпускаемой в стране современной мощной холодильной техники не решает проблемы создания приемлемого микроклимата, поэтому нормативными документами ФРГ регламентированы повышенные по сравнению с действующими в шахтах Украины допустимые температуры, но оговорена влажность воздуха, скорость его движения и длительность пребывания шахтеров в такой зоне. В Украине по образцу и подобию действующих в ФРГ санитарных норм на допустимые температуры в горных выработках еще в 2002 году приняты «Державні санітарні правила та норми. Підприємства вугільної промисловості. ДСПЗ.3.1.095-2002», допускающие такие же максимальные нормы температуры (до 32°C), но нормируемая §621 Правил безопасности в угольных шахтах температуре воздуха пока не изменена. Справедливости ради укажем, что в большинстве горных выработок глубоких шахт даже допускаемая санитарными нормами температура превышена. Кондиционирование воздуха в шахтах является дорогостоящим процессом поскольку не только требуются большие затраты на приобретение холодильной техники, но и огромные расходы электроэнергии на получение холода. Не афишируемые широко в технической литературе сведения сообщают, в 2009 шахты ФРГ получили из фонда государства 69 миллионов евро дотацию на оплату электроэнергии. Этот факт свидетельствует о том, что стоимость кондиционирования в глубоких шахтах даже рачительным немцам при грамотной эксплуатации современной холодильной техники обходится недешево. Кстати, объем добычи каменного угля в ФРГ в настоящее время такой же, как и в Украине, каменный уголь им нужен для коксохимии и экспорта, потребности энергетики в энергоносителях удовлетворяются за счет добычи бурого угля, а имеющиеся в стране мощности предприятий по его добыче способны выдавать до 300 млн. тонн в год.

Опыт работ по добыче полезных ископаемых на больших глубинах в других странах также не дает надежд на возможность его заимствования и использования на глубоких шахтах Донбасса. ЮАР ведет горные работы на глубинах, достигающих 3800м. В Донбассе на такой глубине естественная температура достигла бы $110-115^{\circ}\text{C}$. В ЮАР в таких глубоких рудниках ведется добыча зо-

лота, но теплофизические параметры горных пород сходны с таковыми на рудниках Кривбасса, где геотермическая ступень составляет 90 и более метров на $^{\circ}\text{C}$ (в Донбассе она равна 32-35 м/ $^{\circ}\text{C}$). Выход из положения в ЮАР находят следующим образом: будущие шахтеры – привычные к жаре африканцы, перед допуском к работе в руднике проходят 45–дневный курс адаптации к выполнению производственных операций при постепенно возрастающей температуре. На рудниках имеется мощная английская холодильная техника, но практикуется нормализация тепловых условий не во всех горных выработках рудника, а в специально оборудованных камерах, куда горняки приходят для релаксации через каждый час работы. Понятно, что объем горных работ по добыче золота и численность горнорабочих не сравнимы с таковыми по добыче угля на шахтах Донбасса.

Плановые научно-исследовательские работы по проблеме шахты будущего в Украине практически не ведутся по той простой причине, что новые владельцы шахт преследуют цель извлечь максимальную прибыль из пока действующих шахт и нашли возможность не только не финансировать развитие угольной промышленности, но и получать из госбюджета около 7 миллиардов гривен в год на модернизацию (фактически - на поддержание в рабочем состоянии) взятых ими у государства в аренду шахт. Государство не занимается проблемой возрождения угольной промышленности как из-за финансовых трудностей, так и из-за непрекращающихся войн по переделу власти и отсутствия квалифицированного руководства отраслью. Тем не менее, в порядке личной инициативы в некоторых вузах и научно-исследовательских организациях страны ведутся поисковые работы по обеспечению выживания угольной промышленности, одним из направлений которого является разработка способа и средств обеспечения добычи угля в глубоких шахтах. Поэтому проведение практических работ по нормализации микроклимата глубоких шахт имеет под собой некоторый научный задел, оставленный школой академика А. Н. Щербаня, и разработок немногочисленных продолжателей этого научного направления.

К настоящему времени достаточно четко определились основные положения предлагаемой НГУ концепции проведения научно-прикладных работ по решению проблемы обеспечения нормальных тепловых условий труда в горных выработках глубоких шахт Донбасса [3].

Сущность концепции сводится к следующему:

1. Обеспечить нормальные тепловые условия труда в горных выработках глубоких шахт Донбасса только за счет применения эффективной вентиляции и типовых систем кондиционирования воздуха в шахтах не представляется возможным.

2. Эффективная вентиляция и система нормализации тепловых условий в горных выработках должны дополнить мероприятия по организованному отводу тепла массива горных пород в пределах шахтного отвода.

3. Заблаговременно снизить температуру горного массива можно несколькими способами:

-охлаждением горного массива шахты в целом или отдельного ее блока с помощью сети горных выработок подсечного горизонта, расположенного ниже предельной глубины разработки угольных пластов [4].

- орошением груди забоя и призабойного пространства проводимой выработки;

- охлаждением горных пород по трассе проведения горной выработки с помощью серии опережающих ее параллельных скважин, буримых из специальной камеры;

- охлаждением горных пород по периметру проводимой выработки при выбуривании горных пород и выносе тепла буровой пульпой;

- охлаждением горного массива по трассе выработки за счет опережающей подготовительный забой скважины.

4. Обеспечение нормальных условий труда в призабойной зоне проводимой горной выработки может быть обеспечено применением радиационного кондиционера, защищающего находящихся под ним горнорабочих от потока инфракрасного излучения нагретых горных пород.

5. Мероприятия по нормализации тепловых условий труда на глубоких горизонтах шахт Донбасса должны обеспечить сокращение нагрева движущегося по горным выработкам воздуха за счет его предварительного тепло-влагонасыщения.

6. Сокращение поступления тепла горного массива в горные выработки глубокой шахты должно быть обеспечено созданием теплоуравнивающей рубашки расчетной величины, служащей термическим сопротивлением на пути теплового потока в горную выработку;

7. Холодоподача с проветривающим горные выработки воздухом должна компенсировать нагрев воздуха за счет окислительных процессов, тепловыделений от работающих машин и механизмов и поступления тепла горного массива через теплоуравнивающую рубашку горной выработки по пути движения воздушного потока.

8. Снабжение холодом сети подземных выработок глубокой шахты должно осуществляться расположенной на дневной поверхности системой его получения и осуществляться водой, подаваемой по замкнутому теплоизолированному трубопроводу на уровень околосвольного двора действующего горизонта.

9. Замкнутый трубопровод подачи тепла в шахту и выноса тепла на дневную поверхность должен быть высоконапорным, рассчитанным на гидростатическое давление столба воды, равного максимальной глубине залегания отрабатываемых пластов, теплоизолированным и снабженным теплообменниками на холодоподающей и тепловыдающей ветвях. Холодоподающая ветвь должна располагаться в клетевом воздухоподающем стволе, тепловыдающая - в скиповом стволе на исходящей струе.

10. Расположенная вблизи стволов система производства холода и утилизации тепла должны быть спроектированы с учетом возможности использова-

ния естественного холода в зимнее время, сезонного сохранения тепла и при необходимости - устройствами повышения температурного потенциала воды.

Предложения по нормализации тепловых условий за счет соответствующего порядка отработки угольных пластов, расширенного применения энергии сжатого воздуха, сокращения теплопритока из горного массива в выработки за счет применения теплоизоляции стенок выработок твердой пеной и воздухонаполненными оболочками не встречают возражения поскольку уже известны и апробированы.

Содержащиеся в концепции положения в значительной степени базируются на результатах исследований школы А. Н. Щербаня [5], на отечественном и зарубежном опыте работ по нормализации тепловых условий в горных выработках шахт и результатах поисковых научно-исследовательских работ, выполненных в НГУ [4,6].

Впервые натурные инструментальные исследования параметров теплоуравнивающих оболочек, формирующихся вокруг горных выработок, выполнены школой А. Н. Щербаня в 60-е годы прошедшего столетия на шахте «Комсомолец» и дали отнюдь не радующие перспективой результаты. Оказалось, что толщина теплоуравнивающей рубашки (ТР-как ее называли исследователи) при охлаждении стенок выработки проветривающим ее воздухом увеличится на 10-15 метров лишь спустя минимум десять лет. Понятно, что при таких сроках формирования ТР никаких проектов по их использованию не возникло, тем не менее в монографии [5] приведены аналитические выкладки по оценке влияния ТР на сезонные колебания температуры воздуха в горных выработках шахты. По-видимому, большой срок формирования ТР вынудил ученых школы А. Н. Щербаня и МакНИИ при разработке «Единой методики прогнозирования температурных условий в угольных шахтах» учесть постепенно происходящие изменения параметров горного массива вокруг выработок разбивкой расчетного периода на срок до года, от года до 10 лет и более 10 лет и предложить для этих периодов соответствующие расчетные зависимости.

Перспектива использования ТР при решении проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт в то время не вызвала большого интереса по нескольким причинам, к числу которых относятся длительный период их формирования при доставке холода потоком проветривающего горные выработки воздухом, сравнительно небольшой перепад температур горного массива и воздуха на глубине ведения работ и малая стоимость электроэнергии, поставляемой шахтам по двухставочному тарифу. Попутно заметим, что в то время Украину как и всю мировую общественность еще не беспокоил призрак энергетического голода и дефицита энергоносителей и не стоял на повестке дня поиск альтернативных источников энергии. За прошедшие пять десятилетий ситуация в корне изменилась, исчерпание запасов природного газа и нефти сделало проблему энергоносителей условием благополучия и выживания многих государств, а пока не оправдавшиеся надежды на получение ядерной энергии водородного синтеза заставляют разрабатывать и применять новые энергосберегающие технологии. Украина, к сожалению, не входит в число та-

ких стран и стоит перед перспективой дальнейшего развала экономики и ухудшения благосостояния населения страны, если не решит проблемы энергоносителей. А решать эту проблему придется по образцу Франции за счет расширения производства электроэнергии на АЭС и за счет добычи угля, запасами которого природа снабдила Украину на добрых пять столетий, но спрятала на большой глубине.

Решение проблемы добычи угля в глубоких шахтах Донбасса стало вопросом ее технического престижа, условием сохранения металлургической промышленности как источника получения валюты на международном рынке, решения социальной проблемы обеспечения работой значительной части населения Донбасса и - в конечном итоге - гарантией обеспечения независимости страны от внешнего экономического и политического давления. Угольная промышленность в настоящем ее состоянии решить эту проблему не может. Чем скорее руководство страны это поймет и примет соответствующие меры, тем с меньшими потерями будут достигнуты успехи в восстановлении не только угольной промышленности, но и всего промышленного комплекса страны.

При решении задачи нормализации тепловых условий в горных выработках при любом способе подачи холода в шахту необходимо знать требуемые размеры выделений тепла в объем горных выработок. Не существует двух одинаковых по горно-техническим условиям шахт, поэтому проект кондиционирования воздуха содержит расчеты тепловыделений от различных источников - окислительных процессов в горных выработках, от работающих машин и механизмов, повышение температуры от степени сжатия воздуха с глубиной, учитывает обводненность горных выработок и степень доступности поверхности воды для испарения, а также естественную температуру горных пород на глубине ведения горных работ. Методика расчета теплового баланса горных выработок достаточно хорошо разработана, однако требует учета многих конкретных факторов. К сожалению, расчет поступления тепла из окружающего горные выработки породного массива разработан значительно слабее, чем по другим параметрам, и учитывает лишь влияние скорости движения воздуха на величину коэффициента теплообмена. При прогнозировании тепловых условий в горной выработке по действующей методике обязательно требуется знать средний срок существования выработки. Все упомянутые выше моменты включены в методику прогноза в связи с тем, что процесс теплообмена в горных выработках является неустановившимся и описывается уравнением Фурье, а при движении охлаждающей среды в дополнение к процессу теплопередачи теплопроводностью вступает в действие процесс охлаждения по закону Ньютона-Рихмана. Описывающие процесс теплопередачи дифференциальные уравнения в частных производных и труднодоступные для горного инженера, не изучавшего в вузе курс математической физики, превращаются в трудно решаемые и для осведомленного в этих вопросах математика из-за того, что такие уравнения становятся неоднородными и не решаются стандартными методами.

Для цилиндрического тела бесконечной длины, каким в расчете представляется горная выработка, эти уравнение Фурье имеют вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial R^2} + \frac{1}{R} \frac{\partial t}{\partial R} \right) \quad (1)$$

$$t = t_n \text{ при } \tau = 0; \quad (2)$$

$$t \rightarrow t_n \text{ при } R \rightarrow \infty, \quad \tau > 0; \quad (3)$$

$$-\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial R} - \alpha \cdot (t - t_n) = 0 \text{ при } R = R_0 = \frac{2 \cdot F}{U} \quad (4)$$

Здесь: (1)-дифференциальное уравнение теплопроводности Фурье в цилиндрических координатах, (2) - закон начального распределения температур в горном массиве, (3) - условие неограниченности массива в радиальном направлении и (4) - закон теплообмена поверхности выработок с воздушной струей при постоянной температуре $t_n = \text{const}$.

Для получения конечных зависимостей в безразмерном виде, определяющих относительную температуру любой точки массива в любой момент времени, используется безразмерная температура, определяемая выражением

$$\vartheta = \frac{t - t_e}{t_n - t_e} \quad (5)$$

Для решения дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных, каким является уравнение (1), обычно применяется метод преобразования Лапласа, сущность которого заключается в приведении дифференциального уравнения в частных производных от R и τ к обыкновенным дифференциальным уравнениям от R путем замены функции $f(\tau)$ ее изображением $T(s)$:

$$T(s) = \int_0^\infty f(\tau) \cdot e^{s\tau} d\tau \quad (6)$$

Изображения для значительного числа функций, встречающихся на практике, приведены в литературе по операционному исчислению. Решение уравнений, составленных из изображений функций, сводится к решению дифференциального уравнения от одной переменной R . Переход от полученного решения $T(s)$ к оригиналу осуществляется по таблицам, если получено его табличное решение, либо с помощью теоремы разложения. Если после выполнения перечисленных выше операций решение не получено, то прибегают к решению общего для перехода от изображения к оригиналу интеграла

$$\mathcal{I}(R, \tau) = \frac{1}{2\pi \cdot i} \int_{\sigma-i\infty}^{\sigma+i\infty} e^{s\tau} T_{R,s} ds \quad (7)$$

Замена температурных функций их изображениями приводит к получению уравнения Бесселя с мнимым аргументом, которое подстановкой $T = u + \frac{1}{s}$,

$\frac{s}{a} R^2 = x^2$ приводится к виду:

$$x^2 u'' + x u' - x^2 = 0 \quad (8)$$

Решением такого уравнения есть бесселевы функции мнимого аргумента первого и второго рода нулевого порядка. Аналитический аппарат этих расчетов известен и используется специалистами-математиками, но труднодоступен для научных и инженерных кадров горнодобывающей промышленности, поэтому желательно получить интересующие нас параметры теплового процесса теплообмена в окружающем горную выработку более простым методом. Для этого попробуем избежать расчетов промежуточных параметров теплообмена во времени и пространстве, воспользовавшись конечными результатами таких расчетов, вытекающих из общих для протяженных цилиндрических тел закономерностей. В цилиндрическом протяженном теле, в качестве которого может служить горная выработка, при установившемся процессе теплообмена температура горного массива по радиусу изменяется по логарифмическому закону:

$$t_r = t_p - (t_p - t_c) \cdot \frac{\ln(r/r_2)}{\ln(r_1/r_2)} \quad (9)$$

Установлению такого распределения температур предшествовал вынос определенного количества тепла из рассматриваемого объема массива. Начальная температура горного массива равна его естественной температуре, то есть зависит от глубины залегания. Распределение температуры при новом установившемся режиме зависит от разности температур на внешней и внутренней границах теплоуравнивающей рубашки. Представляющими практический интерес величинами являются величина выноса тепла из горного массива в объеме образовавшейся ТР и линейный тепловой поток при наличии ТР. Эти величины определяют требуемую для охлаждения величину и необходимую интенсивность подачи холода для поддержания установившегося квазистационарного теплового режима горного массива. Понятно, что величина требуемого выноса тепла из ТР зависит от разности температур горного массива и поверхности внутренней границы рубашки, удельной теплоемкости горной породы, а линейный тепловой поток - еще и от коэффициента теплопроводности слагающей горный массив. Теплообмен движущегося в горной выработке потока воздуха с породным массивом имеет нестационарный характер и для любого момента времени для участка длиной dx определяется зависимостью $dQ = k_t \cdot U \cdot (t_n - t) \cdot dx$. Здесь U - периметр выработки, t_n - естественная температура пород горного массива на глубине ведения горных работ, t - температура воздуха на расстоянии x от устья выработки, k_t - коэффициент нестационарного теплообмена. Тепловыделение dQ в элементарном участке выработки расходуется на повышение теплосодержания воздуха, что приведет к повышению его температуры на величину dt , т. е. $dQ = G \cdot c \cdot dt$. Величина теплосъема со стенки скважины и повышение теплосодержания охлаждающей воды окажутся равными, т. е.

$$G \cdot c \cdot dt = k_t \cdot U \cdot (t_n - t) \cdot dx \quad (10)$$

Перепишем это равенство в виде

$$\frac{dt}{dx} + \frac{k_\tau \cdot U}{G \cdot c} \cdot t = \frac{k_\tau \cdot U \cdot t_n}{G \cdot c} \quad (11)$$

Получено дифференциальное линейное уравнение первого порядка. Решение этого уравнения имеет вид

$$t = e^{-\int \frac{k_\tau \cdot U}{G \cdot c} dz} \cdot \left[\int \frac{k_\tau \cdot U \cdot t_n}{G \cdot c} \cdot e^{\int \frac{k_\tau \cdot U}{G \cdot c} dz} dz + K \right] \quad (12)$$

Хотя приведенное выше уравнение является интегральным и значительно проще исходного дифференциального уравнения в частных производных, для получения конечного результата расчета еще необходимо учесть конвективный теплообмен по закону Ньютона, для чего придется воспользоваться системой переноса координат. В итоге окажется необходимым выполнить большой объем вычислений для получения решения частного случая. На этапе предварительной оценки охлаждения горного массива движущимся потоком воздуха, а также при орошении стенки выработки водой выполнение такого рода трудоемких расчетов нецелесообразно. Желательно получить более полную интегральную оценку, которую в данном случае может дать ответ на вопрос: какое количество тепла необходимо удалить из окружающего выработку горного массива для охлаждения его до заданной температуры и при каких параметрах орошения (температуре и расходе воды) будет обеспечен требуемый результат. Это позволит оценить требуемые параметры подачи холода, после чего можно целенаправленно решать вопрос о времени охлаждения. Выше приведен перечень нескольких возможных направлений нормализации тепловых условий в горной выработке. Оценка потенциальных возможностей каждого из них требует проведения предварительных расчетов и последующей экспериментальной проверки. В одной статье рассмотреть все варианты невозможно, поэтому в качестве первого опыта попробуем рассмотреть наименее изученный из предлагаемых вариантов - охлаждение горного массива с применением скважины, опережающей забой подготовительной выработки. В качестве цели приводимого ниже расчета поставим представляющую практический интерес задачу – определить требуемую величину предварительного выноса тепла из окружающего выработку горного массива для обеспечения условия, что вскрытие выработки взрывными работами или выемкой породы комбайном на полное сечение выработки вчерне будет сопровождаться обнажением стенки выработки с заданной допустимой температурой. Примем во внимание, что до начала работ по проведению горной выработки естественная температура горного массива на некотором расстоянии впереди подготовительного забоя остается неизменной, равной естественной температуре горного массива на данной глубине. Предполагаемое охлаждение горного массива должно привести к образованию ТР, внутренняя поверхность которой имеет заданную температуру (например, равную нормируемой ПБ 26 °C или предельную по санитарным нормам 32 °C). В предположении возможности обеспечения быстрого охлаждения

горного массива период формирования ТР будем полагать сравнительно небольшим. Тогда притоком тепла из недр Земли в горную выработку за этот промежуток времени можно пренебречь, а расчет вести только на отвод тепла, содержащегося в горном массиве. В этом случае необходимый отвод тепла для формирования ТР единичной длины можно определить как изменение количества тепла в ней за период перехода массива из стационарного состояния с естественной температурой в новое, принимаемое в качестве стационарного состояние пород ТР, сформировавшееся в результате охлаждения. При отсутствии дополнительных источников энергии в объеме ТР распределение температуры пород горного массива в пределах ТР будет подчиняться логарифмическому закону. Поэтому в качестве первого этапа решения поставленной задачи определим величину радиуса ТР, создание которой обеспечит заданную температуру стенки будущей выработки. Расчеты выполним с применением системы MathCAD Enterprise 11.

В качестве исходных величин примем гидравлический радиус выработки $R=2$ м, температуру будущей стенки выработки $tr=32^{\circ}\text{C}$, температуру подаваемой в скважину охлаждающей воды в пределах от 4 до 10°C , естественную температуру пород горного массива равной 40, 50, 60 и 70°C соответственно. Зависимость для определения требуемого внешнего радиуса ТР получим из равенства (9), положив, что температура стенки горного массива, окружающего скважину, равна изменяющейся в заданном пределе температуре охлаждающей воды, а температура будущей стенки выработки (т. е. точек массива, удаленных от центра выработки на расстояние, равное принятому эквивалентному радиусу выработки) равна заданной. Другими словами - решаем задачу нахождения внешнего радиуса ТР из условия, что описывающая распределение температуры горных пород в охлаждаемой оболочке логарифмическая кривая проходит через три точки - точку стенки скважины с температурой охлаждающей воды, точку будущей стенки выработки радиусом R и точку внешней поверхности ТР, где температура горного массива равна естественной. Заметим, что температура стенки скважины принимается равной температуре охлаждающей воды, а не естественной температуре горного массива. Это обусловлено тем, что вода, имея большую теплоемкость и теплопроводность, практически мгновенно охлаждает омыываемую ею поверхность горного массива. Для воздуха такое допущение неприемлемо из-за его теплофизических параметров. В приводимых ниже на рис 1. расчетных зависимостях из-за специфики вычислений в системе MathCAD искомый радиус внешней поверхности ТР записывается как функция температуры стенки скважины (по сути - температуры охлаждающей воды), то есть $f1(tw) = r2$, а температура стенки скважины записана как температура охлаждающей воды $tw = t_c$.

Исходные данные для расчета и необходимые аналитические зависимости представлены ниже на рис.1, содержащем фрагмент расчета с использованием MathCAD 11 Enterprise.

$$R := 2 \quad r_1 := 0.15 \quad tw := 4..10 \quad tp1 := 40 \quad tp2 := 50 \quad tp3 := 60 \quad tp4 := 70 \quad tr := 32$$

$$f1(tw) := e^{\frac{\frac{tp1-tr}{tp1-tw} \cdot \ln(r1)-\ln}{\frac{tp1-tr}{tp1-tw}-1}}$$

$$f2(tw) := e^{\frac{\frac{tp2-tr}{tp2-tw} \cdot \ln(r1)-\ln}{\frac{tp2-tr}{tp2-tw}-1}}$$

$$f3(tw) := e^{\frac{\frac{tp3-tr}{tp3-tw} \cdot \ln(r1)-\ln}{\frac{tp3-tr}{tp3-tw}-1}}$$

$$f4(tw) := e^{\frac{\frac{tp4-tr}{tp4-tw} \cdot \ln(r1)-\ln}{\frac{tp4-tr}{tp4-tw}-1}}$$

tw =	f1(tw) =	f2(tw) =	f3(tw) =	f4(tw) =
4	4.192	10.573	26.667	67.256
5	4.309	11.246	29.352	76.609
6	4.438	12.018	32.546	88.14
7	4.582	12.912	36.388	102.55
8	4.743	13.955	41.064	120.832
9	4.924	15.185	46.83	144.419
10	5.13	16.651	54.047	175.431

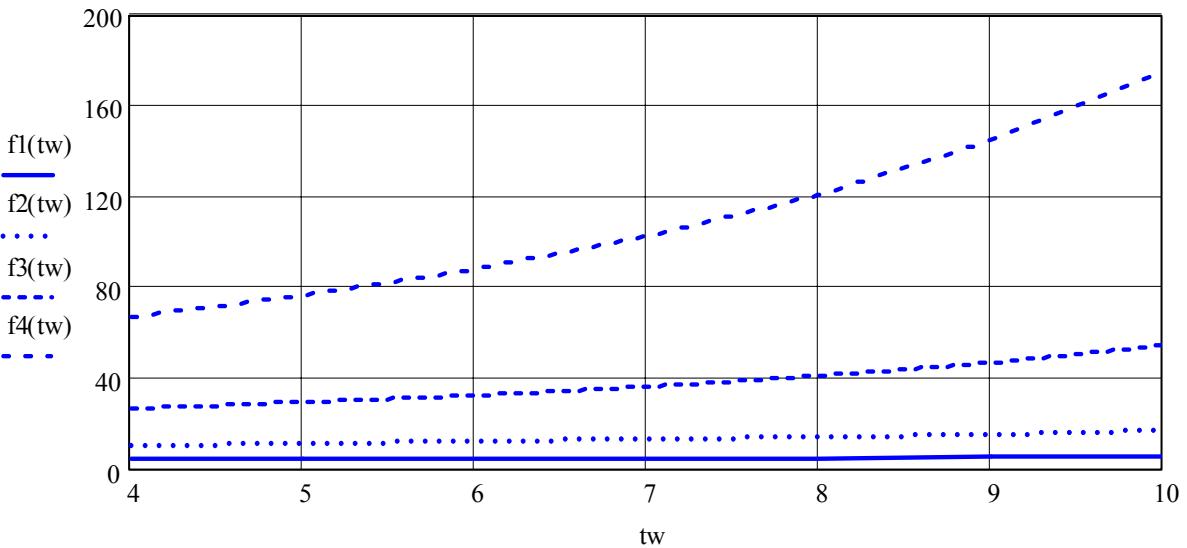


Рис.1. Зависимость размера ТР от температуры охлаждающей воды

Произведем расчет формирования ТР при охлаждении окружающего скважину диаметром 0.3 м известняка с естественной температурой 40, 50, 60 и 70 °C водой с $tw=5^{\circ}\text{C}$. Расчетный радиус ТР по данным таблицы на рис.1. принят равным 4.31, 11.25, 29.35 и 76.6м. Масштаб количества тепла для температуры пород 40-60 °C принят равным $k=0.0002$.

$$\begin{aligned}
r1 &:= 0.15 & tw &:= 5 & tp1 &:= 40 & c &:= 0.20^4 \\
k &:= 0.0002 & f1(r) &:= \left[\begin{array}{l} \ln\left(\frac{rp1}{r}\right) \\ \ln\left(\frac{rp1}{r1}\right) \end{array} \right] & rp1 &:= 4.35 & r &:= 0.15..4.35 & G &:= 2340 & \Delta r &:= 0.2 \\
& & f2(r) &:= 2 \cdot \pi \cdot k \cdot c \cdot G \cdot f1(r) \left(\int_r^{r+\Delta r} r dr \right) \\
& & f3(r) &:= 2 \cdot \pi \cdot k \cdot c \cdot G \cdot tp1 \cdot \int_r^{r+\Delta r} r dr & f4(r) &:= 2 \cdot \pi \cdot k \cdot c \cdot G \cdot (tp1 - f1(r)) \cdot \int_r^{r+\Delta r} r dr
\end{aligned}$$

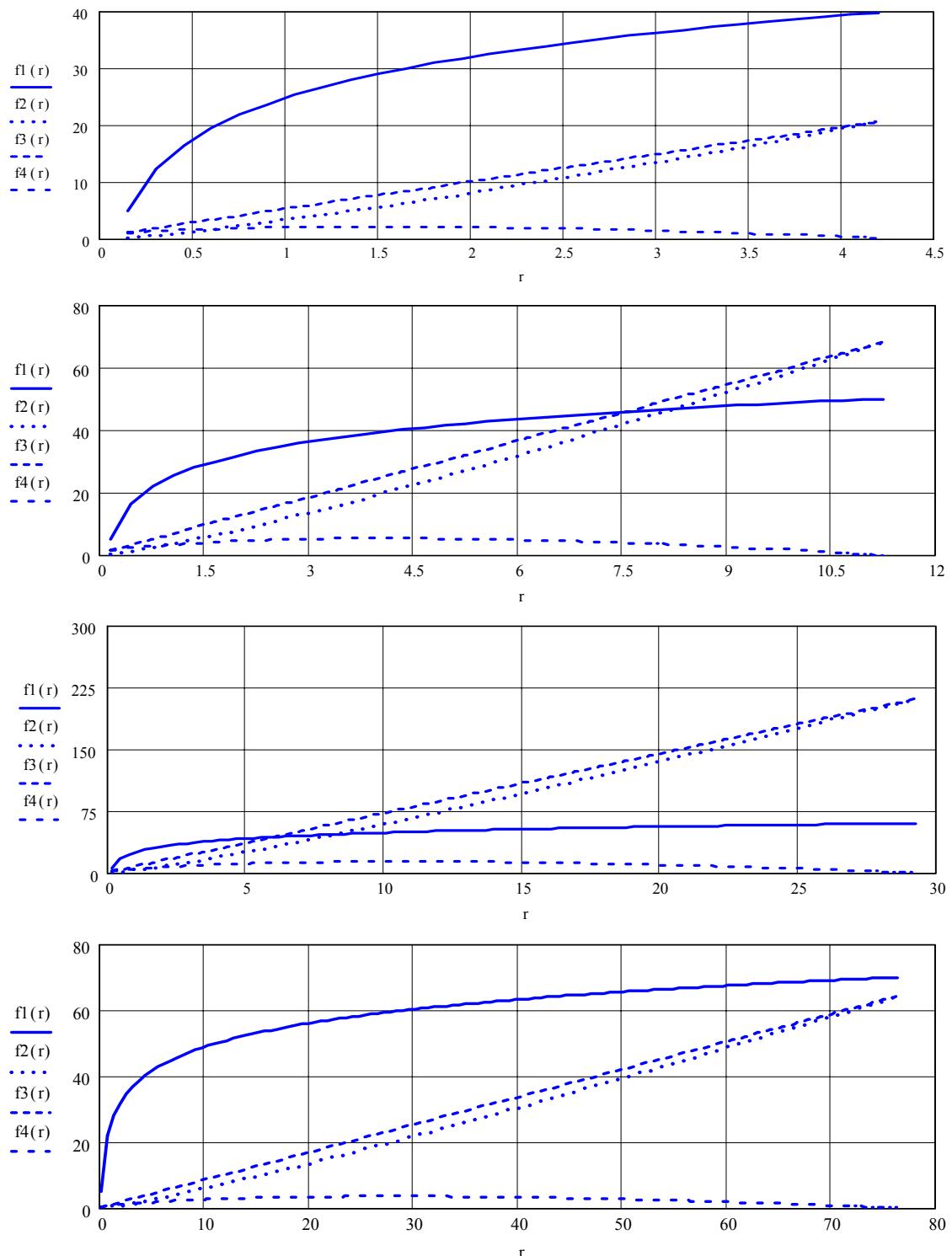


Рис.2. Изменение температуры и содержания тепла в ТР

На графике для температуры пород 70°C масштаб уменьшен еще на порядок (0.00002).

Из таблиц и графика рис.1 видно, что радиус ТР сильно зависит от величины естественной температуры. Например, при $t_w = 5^{\circ}\text{C}$ и естественной температуре массива горных пород 40, 50, 60 и 70°C его размер составит соответственно 4.3, 11.2, 29.3 и 76.6 м. Величина размера ТР с увеличением температуры горных пород нелинейно возрастает и достигает пугающие больших размеров. В следующих публикациях будут раскрыты возможности существенного уменьшения размеров ТР, а пока оценим характер изменения температуры горных пород в пределах ТР, величину необходимого отвода тепла для формирования ТР единичной длины (1м.). Ординаты кривых для температур соответствуют расчетной температуре ${}^{\circ}\text{C}$.

На рис.2 кривая $f_1(r)$ – сплошная линия – представляет изменение температуры горного массива в объеме от охлаждающей поверхности скважины до внешней границы ТР.

Из графиков следует, что при радиусе 2м (величине r , отсчитываемой по оси абсцисс) любая кривая проходит через точку с температурой 32°C , как и предусмотрено заданием на расчет. Кривая $f_3(r)$ – пунктирная линия - отражает характер нарастания количества тепла в неохлажденном горном массиве, а $f_2(r)$ – точечная линия - остаточное количество тепла в нем же после образования ТР. Кривая $f_4(r)$ - штрих-пунктирная линия - отражает распределение по радиусу ТР требуемого выноса тепла для формирования. Хотя количество тепла для определения величин теплосодержания неохлажденного и частично охлажденного для формирования ТР массива, а также количество тепла, подлежащего выносу при охлаждении, определены по зависимостям, содержащим знак интегрирования, Полученные после учета масштабного коэффициента (умножения значений ординат на 5000 для первых трех рисунков и на 50000 для графика, соответствующего температуре 70°C , полученные значения отражают соответствующую длине ТР 1м величину.

Суммарная величина количества тепла, которое воде необходимо вынести воде при формировании ТР по всей длине проводимой выработки будет равна произведению длины выработки на величину отвода тепла участка ТР единичной длины. Заметим, что расчет, произведенный по изложенной выше методике, не потребовал использования сложного аппарата математической физики по решению дифференциальных уравнений в частных производных и интегрирования сложных функций и обеспечил необходимые для проектирования системы нормализации тепловых параметров микроклимата горной выработки достаточно точные результаты расчета требуемой подачи холода.

Заканчивая статью, хотим обратить внимание научно-технической общественности угольной промышленности на вселяющие надежду на успешное решение проблемы нормализации тепловых условий глубоких шахт разработки ООО «Холодмаш». Созданная этим объединением водоохлаждающая машина МХРВ-1 на основе использования винтового компрессора способна обеспечить подачу миллиона Вт холода. Это на порядок меньше, чем подача холода производимыми в ФРГ и Великобритании мощных холодильных установок для шахт. Один из авторов статьи во время годичной научной стажировки в Вели-

кобритании познакомился в 1960 году в Ньюкасле с выпускавшимися фирмой ХьюВуд для поставки в ЮАР удивительными по своим параметрам холодильными установками. Эта же фирма производила компрессорные установки для ведения взрывных работ по добыче крупногабаритного угля, создающие давление сжатого воздуха до 70-80 МПа. Винтовой компрессор мощной холодильной установки имел габариты меньше письменного канцелярского стола и казался игрушечным дополнением к огромному по сравнению с ним электродвигателю для его привода.

Начавшееся обеспечение глубоких угольных шахт мощными водоохлаждающими установками открывает дорогу для перехода на качественно новую ступень осуществления работ по нормализации тепловых условий в глубоких шахтах Донбасса на основе доставки холода и охлаждения горного массива водой по схемам, изложенным в настоящей статье.

Выводы

1. Термовые условия горных выработок глубоких шахт значительно усложнились из-за роста естественной температуры горных пород с глубиной ведения горных пород и не соответствуют параметрам нормативных документов.

2. Для обеспечения нормируемых параметров микроклимата горных выработок глубоких шахт требуется создание мощных энергоемких и дорогостоящих систем кондиционирования, технику для которых Украина не производит.

3. Приобретение дорогостоящих импортных холодильных установок для шахт Донбасса, ведущих горные работы на глубине более 1400 м, не решит проблему нормализации термовых условий в сети их горных выработок так как проветривающий шахту воздух не может доставить в горные выработки требуемое количество холода.

4. Использование рудничного воздуха в качестве средства доставки холода не решает проблемы нормализации термовых условий в горных выработках при их проходке в связи с малой теплоемкостью и объемным весом воздуха и сопряжено с потерей выносимого из шахты тепла в связи с огромными расходами воздуха, проветривающего современные глубокие шахты.

5. Переход на использование воды в качестве транспортера холода и тепла способен решить проблему нормализации термовых условий горных выработок глубоких шахт и положить начало использования тепла горного массива горного отвода глубокой шахты как альтернативного источника энергии для нужд инфраструктуры и энергетики.

6. Предложена новая концепция нормализации термовых условий в горных выработках глубоких шахт, способы и средства ее реализации, позволяющие решить проблему нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса при умеренных затратах электроэнергии на получение холода и использовать холод естественных источников.

7. Разработана пригодная для практического использования службами ИТР шахт инженерная методика расчета холодоснабжения горных выработок глубоких шахт.

8. Начатые в Украине с опозданием по сравнению с Великобританией на 60 лет работы по созданию шахтных холодильных установок на базе винтовых компрессоров способны обеспечить подачу в горные выработки охлажденной воды и, по нашему мнению, являются в высшей степени своевременной разра-

боткой, способной обеспечить ведение горных работ и добычу угля в Донбассе на глубоких горизонтах.

Список литературы

1. Гуттенберг Б. Физика земных недр. – М.: Издательство иностранной литературы 1963. - 263 с.
2. Бойко В. А., Бойко О. А. Оценка теплового потенциала горного массива глубокой шахты Донбасса и возможностей типовой схемы нормализации условий труда // Сб. науч. трудов НГУ.- №16.- 2003.- Днепропетровск.- С.113-124.
3. Бойко В. А., Бойко А.В. К вопросу о выборе способа и средств нормализации тепловых условий в подготовительных горных выработках глубоких шахт Донбасса в период их проходки // Зб. наук. праць НГУ №32.- 2009.- Дніпропетровськ: НГУ.- С.193-206
4. Бойко В. А., Бойко О. А. Проблема нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса, способы и средства ее решения. Материалы международной конференции “Форум горняков 2009”.- Дн-ск: НГУ.- С.142-153.
5. Щербань А. Н., Кремнев О. А. Научные основы расчета и регулирования теплового режима глубоких шахт. Том 1,2. Издат. АН УССР, Киев, 1959. - 430 с, 1960.-348 с.
6. Бойко В. А., Бойко О. А. Способ и средства нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт в период их строительства // Зб. наук. праць НГУ.-2009.- №32.- Дніпропетровськ: НГУ.- С.214-225.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 25.10.10*

УДК 622.235:504.06

© А.А. Юрченко

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ ПУТЁМ ПРИМЕНЕНИЯ РЕЗИНОВОЙ ПРОБКИ С АНКЕРНЫМ УСТРОЙСТВОМ В КАЧЕСТВЕ ЗАБОЙКИ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ

Наведені результати розробки по удосконаленню конструкції набивки свердловинних зарядів при масових вибухах в кар'єрах. Обґрутована доцільність використання резинової пробки з анкерним пристроєм для здійснення регулювання швидкості вильоту набивки із свердловини при вибухах, а тим самим і висоти підйому пилогазової хмари.

Приведены результаты разработки по совершенствованию конструкции забойки скважинных зарядов при массовых взрывах в карьерах. Обоснована целесообразность применения резиновой пробки с анкерным устройством для осуществления регулирования скорости вылета забойки из скважины при взрывах, а тем самым и высоты подъёма пылегазового облака.

The results of development on perfection of construction of zaboyki of mining hole charges at the mass explosions in careers are resulted. Expedience of application of rubber cork with the anchor device for realization of adjusting of speed of flight of zaboyki from a mining hole at the explosion is grounded, and the same and heights of getting up of pilegazovogo cloud.

Введение. Одним из важнейших факторов, определяющим условия и эффективность взрыва скважинных зарядов, является внутренняя забойка скважин. Её величина и качество в значительной мере определяют степень использования

энергии взрыва для разрушения горного массива, равномерность его дробления, а также объём выбрасываемого в атмосферу пылегазового облака. Многочисленные исследования [1,2,3,4] различных конструкций забойки и применяемых материалов позволили сделать вывод, что путём увеличения длины забойки можно почти в три раза увеличить время воздействия взрыва на разрушающий массив (запирающий эффект) и при этом максимальную скорость вылета продуктов взрыва из устья скважины можно значительно снизить.

Энергия взрыва может быть использована наиболее полно только в том случае, когда забойка обеспечивает задержку продуктов детонации в скважине до начала разрушения массива и сдвига пород. Другими словами длина забойки должна быть такой, чтобы суммарное сопротивление сил трения по поверхности сдвига равнялось выталкивающему усилию продуктов детонации:

$$\sum Q_{mp} = S,$$

где $\sum Q_{mp}$ - суммарное сопротивление сил трения на поверхности сдвига забойки, Н; S - выталкивающее усилие продуктов детонации, Н.

Следует отметить, что в первоначальный момент развития взрыва происходит уплотнение забоевого материала за счёт воздействия на торец забойки ударной волны и поршневого давления продуктов детонации. В результате такого уплотнения на контакте забойки со стенками скважины возникают силы бокового распора. Поскольку эти силы больше сопротивления забоевого материала сдвигу, то во время взрыва забойка не скользит по стенкам скважины, а срезается по цилиндрической поверхности, весьма близкой совпадающей с боковой поверхности скважины. Поэтому процесс выбрасывания забойки из скважины можно представить следующим образом: С момента начала взрыва газообразные продукты детонации, воздействуя на торец забойки, стремятся сдвинуть её. До тех пор, пока не произойдёт сдвиг, сопротивление выталкивающему действию продуктов детонации оказывается за счёт инерции покоя собственной массы забойки, сил внутреннего трения и сцепления частиц забоевого материала. Но сразу же после уплотнения забоевого материала происходит сдвиг забойки и в дальнейшем её перемещению препятствуют только вес и силы внутреннего трения.

Промежуток времени с момента завершения детонации до начала отрыва и сдвига пород зависит от величины давления продуктов детонации в скважине и скорости детонации ВВ (качества ВВ), характера разрушаемых пород (их крепость и трещиноватость), количества свободных поверхностей забоя, линий наименьшего сопротивления и др. Пусть для каких-то конкретных условий время отрыва и сдвига пород определяется абсциссой t_p (рис.1.). Конструкцию забойки, а следовательно и время её движения в скважине с момента начала детонации до полной разгерметизации скважины можно подобрать такой, что оно будет совпадать с моментом отрыва и сдвига пород (Точка 1).

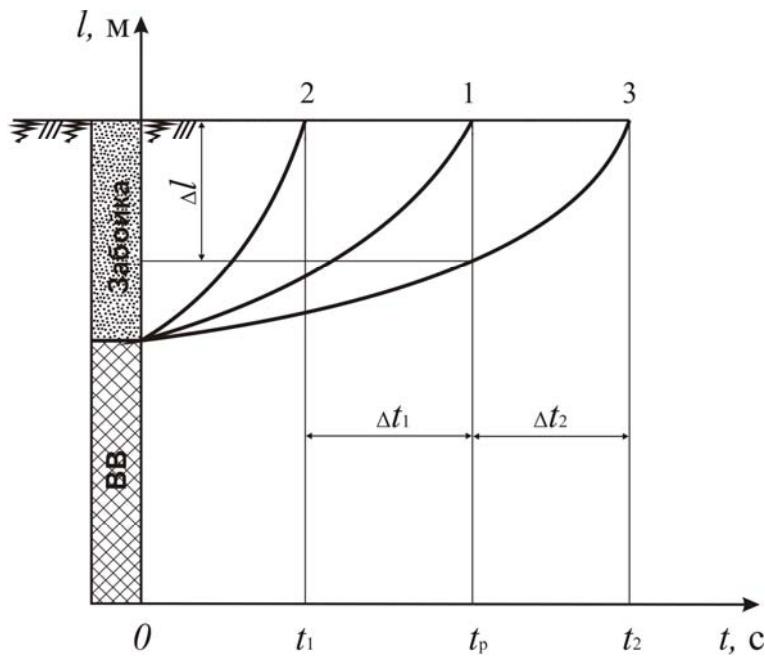


Рис.1. Время вылета забойки из скважины при изменении её параметров

Если конструкция забойки такова, что суммарное сопротивление сил трения сдвига забойки меньше выталкивающей силы продуктов детонации, то наблюдается повышения скорости её движения в скважине. В этом случае полное время вылета забойки t_1 будет меньше t_p на величину Δt_1 (Точка 2). Следовательно в этом случае продукты детонации будут воздействовать на массив не всё позволяемое горно-геологическими условиями разрушаемых пород время t_p , а только в промежутке времени $t_1 = t_p - \Delta t_1$. В результате этого часть энергии взрыва, расходуемой на разрушение горного массива, будет меньше максимально возможной. В этих условиях скорость выхода продуктов детонации из скважины значительно возрастает, а это вызывает повышения высоты выброса пылегазового облака. Кроме этого, часть заряда ВВ не успевает детонировать, выбрасывается из скважины и догорает в пылегазовом облаке, повышая концентрацию взрывных газов в атмосфере.

Если конструкция забойки такова, что суммарное сопротивление сил трения по поверхности сдвига забойки больше выталкивающей её силы продуктов детонации, то время её вылета из скважины t_2 будет больше времени t_p на величину $\Delta t_2 = t_p - t_1$ (Точка 3). Таким образом, к моменту отрыва и сдвиганию пород верхняя часть зарядной камеры Δl остаётся заполненной забойкой. Стенки зарядной камеры в этой зоне не будут подвергаться непосредственному воздействию продуктов детонации и, следовательно, дробление массива в этом месте будет неудовлетворительным, что приводит к повышению выхода негабарита после взрыва.

Постановка задачи. Экспериментальными исследованиями установлено [3], что выход крупных фракций при увеличении длины забойки до определённого значения уменьшается, после чего практически остаётся постоянным. Выход мелких фракций с увеличением длины забойки имеет тенденцию к возрастанию. Всё это подтверждает, что в каждом конкретном случае применения

массовых взрывов для разрушения горных пород существует оптимальная конструкция забойки, обеспечивающая максимально возможную эффективность взрыва при прочих равных условиях. Нами поставлена задача разработки такой конструкции забойки, которая позволяла бы изменять (регулировать) суммарное сопротивление сил трения по поверхности сдвига забойки под действием сил давления продуктов детонации без изменения её длины.

Основные результаты Конструкция забойки в конечном итоге должна обеспечивать герметизацию зарядной камеры на время, необходимое для отрыва и разрушения пород в направлении линии наименьшего сопротивления. В этом случае должно соблюдаться условие:

$$t_3 = t_p + t_d, \quad (1)$$

где t_3 – время вылета забойки, с; t_p – время отрыва и сдвижения пород, с; t_d – продолжительность детонации заряда, с.

Время вылета забойки из скважины при условии, что вся свободная от заряда её часть заполнена забоечным материалом, будет равно:

$$t_3 = \frac{l_3}{g_3},$$

где g_3 – скорость вылета забойки из шпура, м/с; l_3 – длина забойки, м.

Время отрыва и сдвижения пород зависит от характера разрушаемого массива, количества свободных поверхностей забоя, величины линии наименьшего сопротивления и определяется экспериментальным путём.

Скорость детонации ВВ в заряде определяется типом используемого ВВ и в каждом конкретном случае является величиной известной. Длина заряда устанавливается исходя из количества скважин и удельного расхода ВВ. Поэтому продолжительность детонации заряда можно определить из выражения:

$$t_d = \frac{l_{BB}}{g_d},$$

где l_{BB} – длина заряда ВВ в скважине, м; g_d – скорость детонации используемого ВВ, м/с.

С учётом этого выражение (1) можно записать в виде:

$$\frac{l_3}{g_3} = t_p + \frac{l_{BB}}{g_d}.$$

Расчётная длина забойки может быть определена как:

$$l_3 = g_3 \left(t_p + \frac{l_{BB}}{g_d} \right).$$

Таким образом, расчётная длина забойки в каждом конкретном случае зависит от типа применяемого ВВ (обуславливает продолжительность детонации), физико-механических свойств разрушаемого массива (обуславливает время отрыва и сдвижения разрушающего массива), а также от скорости вылета забойки из скважины. Весьма перспективной была бы такая конструкция за-

бойки скважин, которая бы без изменения конструкции позволяла бы при изменении горно-геологических условий регулировать скорость её вылета из скважины. Это требование, на наш взгляд, может осуществить предложенная конструкция забойки скважин с использованием резиновой пробки с анкерным устройством.

Скважинный заряд устраивается следующим образом (Рис.2.):

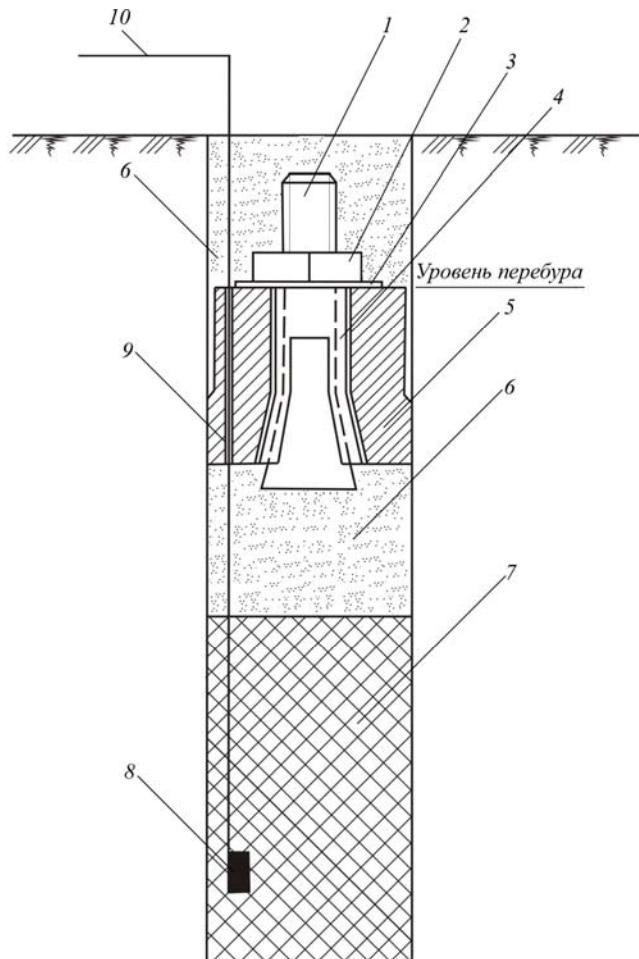


Рис.2.Скважинный заряд с использованием резиновой пробки с анкерным устройством

Над зарядом взрывчатки 7 предусматривается штатная забойка 6, например, отсев горной массы. В устье скважины над забойкой помещают резиновую пробку 5, диаметр которой соответствует диаметру скважины. Резиновую пробку устанавливают на уровне перебора в монолитном массиве горных пород, так как выше этого уровня массив имеет повышенную трещиноватость из-за воздействия на него предыдущих взрывов. Для закрепления резиновой пробки в скважине применён трубчатый анкер, который устанавливают по её центру. Анкер состоит из анкерного болта с конусной головкой 1, гайки 2, шайбы 3, трубы с прорезями 4. Для надёжного расклинивания пробки в скважине заворачивают гайку 2, вследствие чего конусный клин входит в трубку 4.

Плотность соприкосновения пробки со стенками скважины зависит от глубины входа клина в трубку с прорезями 4. Толстостенная трубка 9 предна-

значена для прокладки детонирующего шнура 10 к боёвiku 8 заряда взрывчатки 7. Устье скважины над пробкой 5 заполняют штатной забойкой 6. Благодаря использованию резиновой пробки 5 при взрыве заряда осуществляется “запирание” продуктов детонации в скважине. Применение пробки с анкерным устройством позволяет регулировать плотность её соприкосновения со стенками скважины. При этом сопротивление сил трения пробки по стенкам скважины выталкивающему воздействию продуктов детонации изменяется и тем самым осуществляется управление скоростью вылета забойки из скважины.

Скорость вылета забойки из скважины зависит от усилия продуктов детонации (s), действующих на торец забойки, массы штатной забойки (M_3) и массы пробки (M_n), а также интенсивности сил внутреннего трения уплотнённого взрывом забоечного материала (τ_{cp}) и интенсивности сил трения резиновой пробки о стенки скважины (τ_n). Таким образом, скорость вылета забойки из скважины может быть представлена в виде функции:

$$\vartheta_3 = f(S, \sum M, \sum \tau_{tp}) = f(S, M_3 + M_n, \tau_{cp} + \tau_n). \quad (2)$$

Для выяснения характера математической зависимости между величинами $\vartheta_3, M, \tau_{tp}$ воспользуемся методом размерности. Представим функциональную зависимость (2) в виде степенного уравнения:

$$\vartheta_3 = K S^x M^y \tau_{tp}^z, \quad (3)$$

где K – безразмерный коэффициент пропорциональности; x, y, z – неизвестные показатели степени.

Выразим входящие в уравнение (3) величины через их размерности:

$$\begin{aligned} [\vartheta_3] &= [M/c] = LT^{-1}; \\ [S] &= [H] = [F]; \\ [M] &= [Hc^2/m^2] = [FL^{-1}T^2]; \\ [\tau_{mp}] &= [H/m^2] = [FL^{-2}]. \end{aligned}$$

В этом случае выражение (3) в параметрах размерностей его членов примет вид:

$$[LT^{-1}] = [F]^x [FL^{-1}T^2]^y [FL^{-2}]^z = [F^{x+y+z}] [L^{-y-2z}] [T^{2y}].$$

Приравняем показатели степени при одноимённых размерностях в левой и правой частях выражения:

$$\begin{aligned} \text{при } L && 1 &= -y - 2z; \\ \text{при } T && -1 &= 2y; \\ \text{при } F && 0 &= x + y + z. \end{aligned}$$

$$\text{Откуда находим: } x = \frac{3}{4}; y = -\frac{1}{2}; z = -\frac{1}{4}.$$

Таким образом, выражение (3) с учётом (2) примет вид:

$$\vartheta_3 = \frac{K}{\sqrt{M_3 + M_n}} \sqrt[4]{\frac{S^3}{\tau_{cp} + \tau_n}}. \quad (4)$$

Выражение (4) определяет зависимость скорости вылета забойки из скважины от параметров скважинных зарядов. Коэффициент К определяется экспериментальным путём и учитывает для конкретных условий крепость и трещиноватость разрушаемого массива, тип взрывчатого вещества, конструкцию забойки и др. Масса штатной забойки в процессе вылета из скважины является величиной переменной, но из-за кратковременности взрыва её можно считать величиной постоянной и равной половине своего максимального значения. Выталкивающая сила продуктов детонации является величиной постоянной для конкретной конструкции заряда. Силы внутреннего трения забоевого материала при неизменной конструкции забойки не изменяются, а сила трения пробки о стенки скважины является регулируемым параметром. Резиновая пробка с анкерным устройством позволяет регулировать силу трения о стенки скважины при её выталкивании продуктами детонации, что даёт возможность корректировать скорость и время вылета забойки.

Выводы. Конструкция предложенной забойки скважинных зарядов, которая предусматривает дополнительно к штатной забойке использование резиновой пробки с анкерным устройством, позволяет регулировать величину суммарного сопротивления сил трения забойки выталкивающему усилию продуктов детонации. Этим обеспечивается возможность задержки взрывных газов в скважине до начала разрушения массива и сдвига пород. При этом энергия взрыва наиболее полно используется на разрушение горных пород, а скорость выброса продуктов детонации и забойки снижается. Высота подъёма пылегазового облака и его объём уменьшаются из-за снижения начальной скорости его движения, что позволит снизить загрязнение прилегающих территорий при его рассеивании.

Список литературы

1. Ефремов Э.И., Родак С.Н. Роль забойки в запирании газообразных продуктов детонации. // Повышение эффективности разрушения горных пород. –К.: Наукова думка, 1991. – С.3-8
2. Ефремов Э.И. и др. Основы теории и методы взрывногодробления горных пород. – К.: Наукова думка, 1980. – 214с.
3. Миндели Э.О., Демчук П.А., Александров Е.Е. Забойка шпуров.- М.:Недра, 1968. – 152с.
4. Баум Ф.А., Сансарян Н.С. Импульсы взрыва, обусловленные боковым распором забойки в скважине. // Взрывное дело. – 1966. – С.35-42

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 25.10.10*

ИНВАРИАНТНЫЕ ИНТЕГРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предложен подход к расчету инвариантных интегральных характеристик растровых изображений. Проведена апробация на данных мультиспектральной космической съемки Terra-ASTER и Landsat-ETM+ участка Донбасса – классификация и интерпретация изображений терриконовых ландшафтов на основе предлагаемых характеристик. Подтверждено преимущество интегральных характеристик в сравнении с необработанными мультиспектральными данными.

Запропонований підхід до розрахунку інваріантних інтегральних характеристик растрових зображень. Проведена апробація на даних мультиспектральної космічної зйомки Terra-ASTER і Landsat-ETM+ території Донбасу – класифікація та інтерпретація зображень терриконових ландшафтів на основі запропонованих характеристик. Підтверджена перевага інтегральних характеристик у порівнянні з необробленими мультиспектральними даними.

The approach to invariant integral characteristics calculation of raster images is presented. The approbation on the Terra-ASTER and Landsat-ETM multispectral satellite imagery of the Donbass area is carried out - classification and interpretation of waste bank landscapes images on the basis of the characteristics being proposed. The advantage of integrated characteristics in comparison with raw multispectral data is verified.

Постановка проблемы и анализ публикаций

Для классификации и интерпретации растровых изображений производится расчет множества характеристик. Алгоритмы текстурного анализа изображений обеспечивают определение основных параметров однородных в соответствии с заданным критерием фрагментов космоснимков, характеризующихся свойственными им яркостными и структурными особенностями. Расчет и классификация текстурных характеристик производится в скользящей окрестности для каждого пикселя изображения. Во избежание погрешностей классификации изображений необходим учет их угла поворота и масштаба представления.

Существующие подходы к анализу текстуры изображений делятся на [1, 2]:

- структурный – базирующийся на исследовании особенностей размещения простейших составляющих текстуры – тоновых непроизводных элементов;
- статистический, основанный на расчете статистических характеристик текстуры, таких как центральные моменты нормированной гистограммы яркости изображения, характеристики яркостных матриц смежности, оценки функции вариограммы;
- спектральный, предполагающий анализ Фурье-спектра изображения;
- подход к анализу текстур с позиции бионики определяет необходимость выделения характеристик, наиболее значимых при зрительном восприятии.

Основой для вычисления инвариантных характеристик фрагментов растровых изображений является теория алгебраических инвариантов [3]. Согласно данной теории, расчет характеристик, неизменных при сдвиге, вращении и изменении масштаба, заключается в формировании системы семи инвариант-

ных моментов на основе нормализованных центральных моментов различного порядка [4]. Сложность ее применения – значительные вычислительные затраты при обработке больших наборов данных.

Цель работы – создание инвариантных интегральных характеристик для классификации и интерпретации мультиспектральных космических изображений.

Инвариантные интегральные характеристики

Дано: изображение F размером $N \times M \times L$, где N – число строк, M – число столбцов, L – число каналов. Вычисление его характеристик производится в скользящей окрестности S для каждого пикселя изображения.

Пусть $f_{i,j,k}$ – яркость в точке с координатами (i, j) k -го канала изображе-

ния F , $k = 1, \dots, L$; f_k^0 – яркость в центральной точке окрестности S ; $d_{i,j,k}^0$ – квадрат евклидова расстояния от точки с координатами (i, j) до центральной точки окрестности S k -го канала изображения F .

Расчет интегральных инвариантных характеристик фрагмента мультиспектрального изображения S размером $n \times m$ ($1 \leq n \leq N, 1 \leq m \leq M$) производится по формуле:

$$D(S) = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L \left(\frac{\sum_{(i,j) \in S} \left(\left| f_{i,j,k} - f_k^0 \right|^0 \cdot d_{i,j,k}^0 \right)}{\sum_{(i,j) \in S} d_{i,j,k}^0} \right)$$

Множество характеристик $D(S)$ обладает свойствами инвариантности к повороту, равномасштабному преобразованию и параллельному переносу.

Выбор центральной точки окрестности S определяется решаемой задачей. Центральная точка может соответствовать центру масс фрагмента изображения, точке максимума либо минимума функции яркости и др.

Интегральная инвариантная характеристика для множества участков одного класса $S_0 = \{S_1, \dots, S_K\}$:

$$\bar{D}(S_0) = \frac{1}{K} \sum_{S \in S_0} D(S)$$

Полученные значения характеристик подаются на вход процедур классификации.

Классификация и интерпретация мультиспектральных космических изображений Terra-ASTER и Landsat-ETM+ по инвариантным интегральным характеристикам

Общая схема процесса классификации и интерпретации космоснимков, основанного на расчете инвариантных интегральных характеристик, представлена на рис. 1.



Рис. 1. Общая схема процесса классификации и интерпретации мультиспектральных космических изображений

Рассмотрим этапы процесса на примере классификации типов земного покрова промышленных антропогенных ландшафтов Донбасса и выделения горячих терриконов.

1. Предварительная обработка

На этапе предварительной обработки производится подготовка исходных данных к подаче на вход процедур расчета инвариантных характеристик и классификации.

Исходными данными являются пять каналов теплового диапазона электромагнитного спектра (8,13-11,65 мкм) мультиспектрального изображения Terra-ASTER (дата регистрации: 29.07.2005 г.), пять каналов мультиспектрального изображения Landsat-ETM+ (дата регистрации: 09.05.2002 г.) в диапазоне электромагнитного спектра 0,76-12,50 мкм и космические снимки высокого разрешения Internet-сервиса Google, использующиеся для выделения контуров терриконов (рис. 2).

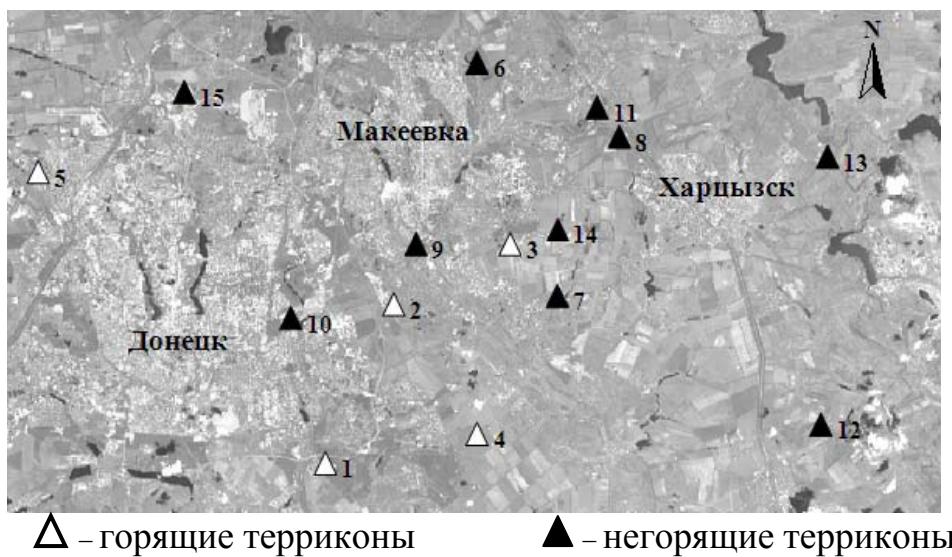


Рис.2. Фрагмент изображения Terra-ASTER городов Донецк, Макеевка и Харцызск с отмеченным расположением терриконов

В исследовании использованы соответственно 15 фрагментов изображения классов "Городская застройка", "Зеленые насаждения" и "Терриконы" (5 горящих и 10 негорящих).

2. Классификация

В табл. 1-2 приведены усредненные значения яркости по каналам изображений Terra-ASTER и Landsat-ETM+, а также результаты расчета инвариантных интегральных характеристики. В качестве центральной выбрана точка максимума яркости. Гистограммы распределения значений инвариантных характеристик фрагментов изображений различных классов представлены на рис. 3.

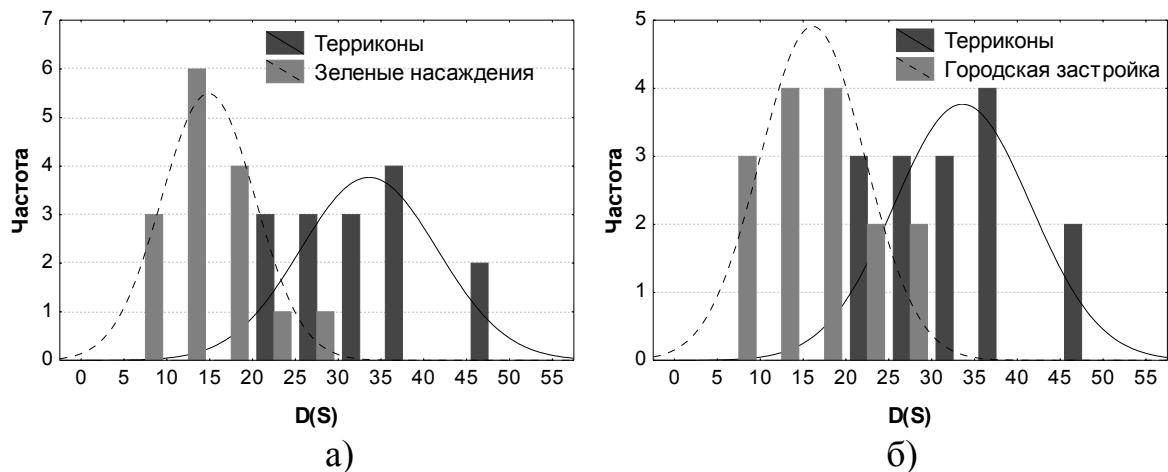


Рис. 3. Гистограммы инвариантных характеристик фрагментов изображений Terra-ASTER в диапазоне электромагнитного спектра 10,95 – 11,65 мкм для классов: а) "Терриконы" и "Зеленые насаждения";
б) "Терриконы" и Городская застройка".

Таблица 1
Результаты расчета характеристик фрагментов изображений различных классов (Terra-ASTER)

Класс	Номер участка	Инвариантные характеристики								Средняя яркость							
		Terra-ASTER				Landsat-ETM+				Terra-ASTER				Landsat-ETM+			
		Длина волны (мкм)		D(S)		Длина волны (мкм)		D(S)		Длина волны (мкм)		Длина волны (мкм)		Длина волны (мкм)		Длина волны (мкм)	
		8,12-8,48	...	10,95-11,65		0,76-0,90	...	10,40-12,50		8,12-8,48	...	10,95-11,65		0,76-0,90	...	10,40-12,50	
Терриконы	1	30,3	...	63,3	48,4	45,1	...	40,9	41,5	1621,8	...	1937,6	67,6	...	170,6		

	15	18,9	...	30,3	24,9	42,3	...	41,4	43,9	1631,6	...	1939,8	76,1	...	181,4		
Зеленые насаждения	1	14,5	...	10,8	12,4	7,3	...	10,5	10,6	1459,6	...	1739,0	41,0	...	134,6		

	15	13,1	...	17,8	15,4	4,3	...	5,4	4,9	1452,4	...	1734,7	38,0	...	142,6		
Городская застройка	1	13,3	...	9,5	11,1	22,8	...	13,5	18,9	1548,7	...	1848,1	64,1	...	154,3		

	15	16,5	...	22,1	19,3	26,9	...	17,4	22,7	1529,9	...	1823,3	58,4	...	159,9		

Автоматическая классификация (кластеризация) производилась по методу k-средних на основе евклидова расстояния между множествами характеристик с целью разделения фрагментов изображения различных классов и выделения горящих терриконов [5].

3. Оценка точности классификации

Оценка точности классификации заключалась в расчете ошибок первого и второго рода для класса "Терриконы" (табл.2).

Результаты классификации по интегральным инвариантным характеристикам на 7% лучше, чем по усредненным значениям яркости в каналах изображения (по показателю ошибки первого рода) при кластеризации фрагментов изображения классов "Терриконы" и "Городская застройка" и на 40% – при выявлении негорящих терриконов (по ошибке второго рода).

Таблица 2

Анализ результатов классификации

Ошибка, %	Terra-ASTER			Landsat-ETM+		
	"Терриконы" и "Зеленые насаждения"	"Терриконы" и "Городская застройка"	Горящие и негорящие терриконы	"Терриконы" и "Зеленые насаждения"	"Терриконы" и "Городская застройка"	Горящие и негорящие терриконы
Инвариантные характеристики мультиспектрального изображения						
Ошибка I рода	0	13	20	0	0	20
Ошибка II рода	0	0	20	0	0	20
Каналы мультиспектрального изображения						
Ошибка I рода	0	20	20	0	0	20
Ошибка II рода	0	0	60	0	6	40

Выводы

1. Разработан и реализован подход к расчету интегральных инвариантных характеристик растровых изображений мультиспектральной космической съемки.
2. Результаты экспериментальных исследований подтвердили более высокую точность классификации фрагментов изображения с использованием инвариантных характеристик в сравнении с исходными данными.

Список литературы

1. Бусыгин Б.С., Сергеева Е.Л. Сравнительный анализ двух статистических алгоритмов обработки текстурных изображений // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №3. – с.77-83.
2. Хомяков Ю.Н., Саушкин В.А. Методы классификации текстур // Зарубежная радиоэлектроника. – 1986. – №2. – с. 33-46.
3. Hu M.K. Visual pattern recognition by moment invariants // IEEE Transactions on Information Theory. – 1962. – Vol. 8. – No. 2. – pp. 179-187.
4. Бочкарев А.М. Корреляционно-экстремальные системы навигации // Зарубежная радиоэлектроника. – 1981. – № 9. – с. 28 – 53.
5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М.: Техносфера, 2010. – 560 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Бусигіним Б.С.
Надійшла до редакції 25.10.10

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ

Предложена геоинформационная технология мониторинга городской застройки на базе обработки космических снимков высокого разрешения. Технология включает в себя векторизацию космических снимков, создание пространственной базы данных градостроительной информации, геоинформационный анализ и зонирование территории.

Запропоновано геоінформаційну технологію моніторингу міської забудови на базі обробки космознімків високої роздільної здатності. Технологія включає векторизацію космічних знімків, створення просторової бази даних містобудівельної інформації, геоінформаційний аналіз і зонування території.

The geoinformation technology of city building monitoring on the basis of processing of space images of the high resolution is offered. The technology includes a vectoring of space images, creation of a spatial database of the town-planning information, the geoinformation analysis and territory zoning.

Введение.

Создание Национальной инфраструктуры геопространственных данных [1], региональных и местных (локальных) банков данных предусматривает постоянный сбор и актуализацию градостроительной информации.

Градостроительная документация включает:

- 1) исходно-разрешительную информацию (сооружения, предназначенные к сносу, проектируемые здания, реконструкция, капитальный ремонт, строительство мансард, границы участков, намеченных под строительство, благоустройство, озеленение);
- 2) функциональные зоны специального назначения (административно-делового, учебно-образовательного, культурно-просветительского, торгово-бытового, лечебно-оздоровительного, спортивно-рекреационного, учебно- воспитательного, многоквартирной жилой застройки, природно-рекреационного, водные поверхности);
- 3) строительные зоны застройки преимущественной этажности (1-2 этажной или высотой не более 10 м, 3-4 этажной или высотой не более 15 м, 5-7 этажной или высотой не более 25 м, 8-10 этажной или высотой не более 35 м, смешанной среднеэтажной);
- 4) ландшафтные зоны преимущественного назначения (застроенные, незастроенные, неурбанизированные);
- 5) охранные зоны (памятников истории и культуры, охраняемого ландшафта, строгого регулирования застройки, охраняемого культурного слоя);
- 6) информацию историко-архитектурного обследования (особо ценный, ценный, рядовой объект городской среды);
- 7) линии градостроительного регулирования (линия жилой застройки, границы полосы отвода железных дорог, технических зон метрополитена, инженерных сооружений и коммуникаций, территорий памятников истории и культуры,

зон охраняемого ландшафта, озелененных территорий, не входящих в природный комплекс, водоохраных, производственных, коммунальных зон);

8) магистральные инженерные сети и сооружения (колодцы, водопровод, канализация, газопровод, теплопровод, водосток, коллектор, кабель энергосистем, телефон, прочие трубопроводы, инженерные сооружения, центральные тепловые пункты);

9) информацию о сроке службы зданий (здания, имеющие архитектурную ценность, рассчитанные на длительное (более 150 лет) использование, здания, имеющие утилитарное значение и определенный срок службы (не более 150 лет), временные сооружения с малым сроком службы).

Мониторинг городской застройки, ориентированный на обновление градостроительной документации, включает задачи анализа градостроительных изменений информации (типа перечисленной в пунктах 1 – 9). Например, поиск, отображение местоположений и территории градостроительных изменений, анализ линий жилой застройки.

Градостроительное проектирование опирается на компьютерные технологии САПР (системы автоматизированного проектирования) и ГИС (географические информационные системы и технологии). И если САПР-технологии находят применение на уровне локальных проектов, то выполнение региональных градостроительных работ невозможно без использования ГИС .

Оперативность градостроительного проектирования ГИС позволяют поднять на качественно новый уровень, так как ГИС-технологии позволяют не только увидеть, как выглядит территория с нужной степенью детализации, но и смоделировать, как будет изменяться ее вид вследствие протекания каких-то процессов [2-4]. Современные ГИС-технологии анализа городской застройки необходимы для мобильного обнаружения нарушений по незаконному возведению строений, поддержки принятия управленческих решений по рациональному использованию территории города.

Для оперативности мониторинга, точности и достоверности анализа городской застройки в данной работе предлагается использовать космические снимки высокого пространственного разрешения (от 1 м до 0,6 м), так как известно, что качество таких снимков позволяет применять их для составления проектов детального планирования в масштабе 1:2000 [5-6].

Важные преимущества космических изображений состоят в следующем.

1. Материалы космических съемок – это объективная информация о современном состоянии и использовании территории города. Традиционные картографические документы устаревают быстро, обновляются редко и актуальной картины состояния и использования территории города обычно не дают. Ведущийся в управлении архитектуры Дежурный план города, а также аналогичные планы других служб не дают общей картины происходящих в городе изменений (новое жилищное строительство, новые дороги, гаражи и другие постройки). Во многих случаях на картах изначально бывают неточности, не связанные с произошедшими изменениями. Все это может быть опознано с помощью анализа космических изображений.

2. Возможность оперативного получения космических снимков как информации для мониторинга исследуемой территории. Одно космическое изображение хранит в себе информацию и о ландшафтах, и об отдельных компонентах природы. Природные факторы во многом определяют размещение селитебных территорий, промышленно-коммунальных зон, рекреационных объектов, объектов инженерной инфраструктуры.

3. Космический снимок представляет собой фотопортрет территории. Лицо, принимающее решения (архитектор) видит город, что более эффективно, чем изучение картографических материалов, так как при составлении карт многие, не существенные на взгляд картографа, детали пропадают.

В Украине пока не существует методик, позволяющих по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) территории городов анализировать характеристики существующей городской застройки (коэффициент озеленения, коэффициент застройки и т.д.).

Цель работы – создание геоинформационной технологии мониторинга городской застройки.

Постановка задачи. Для достижения цели работы необходимо:

- 1) на основе имеющейся градостроительной информации и нормативной документации [7] выделить показатели для анализа городской застройки, расчёт которых можно реализовать с помощью ГИС-технологий;
- 2) провести анализ существующих пакетов векторизации и выбрать адекватный для приведения космических снимков в векторный вид и последующей обработки в ГИС;
- 3) выделить ГИС-технологии, применяемые для моделирования и анализа пространственных объектов территории;
- 4) изучить вопросы создания новых программных приложений в разных ГИС и выбрать среду обработки;
- 5) разработать ГИС-технологию анализа городской застройки для поддержки принятия решений по рациональному развитию территории города.

Исходные данные: 1) космические снимки высокого пространственного разрешения, полученные в последовательные моменты времени, на которых выделяется пространственная структура города, его конфигурация, элементы планировочной структуры территории – точечные, линейные, зональные; 2) карта города (атлас «Весь Днепропетровск»); 3) карта зонирования территории; 4) подробный план города с указанием этажности домов, назначения строений, линий градостроительного регулирования. На рис.1. представлены фрагменты космического снимка и исходных карт центральной части г. Днепропетровска.

Геоинформационная технология мониторинга городской застройки

Структурная схема предлагаемой ГИС-технологии мониторинга городской застройки приведена на рис. 2. Анализ применения разных ГИС в градостроительстве свидетельствует о перспективах их внедрения в градостроительные проекты [2-4, 8] (например, в институте «Діпромісто»).

Выбор системы ArcGIS обусловлен тем, что: 1) в данной ГИС реализован объектно-ориентированный подход, позволяющий обращаться с данными не как с записью базы данных или объектом на карте, а как с объектами опреде-

ленного класса со своими свойствами, поведением, а также отношением к другим классам объектов в базе данных; 2) разработка и подключение собственных программных приложений для вычисления требуемых характеристик объектов на основе их атрибутов легко осуществляются.



Рис. 1. Фрагменты изображений космического снимка и исходных карт

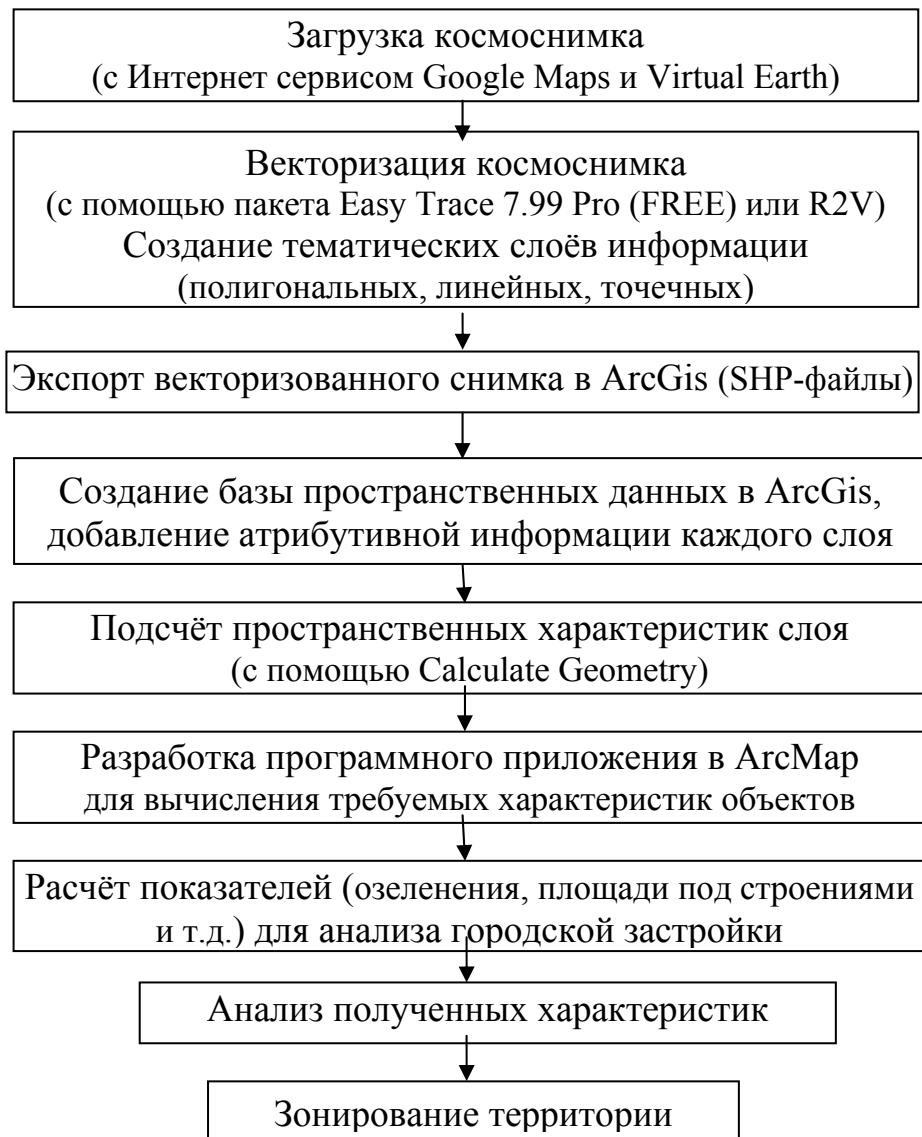


Рис.2. Схема ГИС-технологии мониторинга городской застройки

Шаг 0. Формулировка задачи. На основе нормативной документации [7], имеющейся градостроительной информации выделяют показатели для анализа городской застройки, расчёт которых можно реализовать с помощью ГИС (границы функциональных зон специального назначения или другая градостроительная информация, требующая мониторинга). При рассмотрении зон «жилая застройка», «парки», «дороги» можно выделить соответствующие показатели для мониторинга и сравнения их фактических значений с нормативными (по нормативам [7] удельный вес озелененных территорий в пределах застройки городов должен быть не менее 40 %).

Шаг 1. Загрузка спутниковых снимков из Интернет-осуществляется с помощью программ Google Maps и Virtual Earth (<http://earth.google.com>), благодаря сервисам которых для любой территории земного шара доступны бесплатные спутниковые снимки различного разрешения.

Шаг 2. Векторизация космоснимков. Проведенный анализ пакетов векторизации позволяет сделать вывод, что адекватный инструментарий для приведения космических снимков в векторный вид и последующей обработки в

ArcGIS содержат пакеты Easy Trace (FREE) и R2V. Easy Trace – это набор утилит (подготовки растров, автоматической оцифровки и распознавания объектов, поддержки топологической структуры данных) и инструментов (редактирования объектов, поддержки работы оператора), причем не "чёрный ящик", как многие программы автоматической векторизации, а конструктор, позволяющий собрать свою технологию под конкретные материал и задачу [9].

Задачи векторизации космоснимка для мониторинга городской застройки требуют учета специфики градостроительной информации и включают:

- восстановление геометрических характеристик объектов (области – корректные полигоны, а не наборы фрагментов, составляющие их границы);
- подчинение объектов дополнительным требованиям (контуры зданий, как правило, имеют прямые углы и выровнены вдоль осевых линий улиц);
- топологическая связность объектов (корректные общие границы, вершины или узлы), согласованные связи между точечными, линейными и полигональными объектами, соблюдение всех тех требований, которые обеспечивают корректную топологию модели данных, принятой в ГИС.

Применение инструментария автоматической трассировки для таких задач не дает удовлетворительных результатов, поэтому используется технология полуавтоматической векторизации. Эффективная трассировка требует чёрно-белых растров с чёткими линиями и резкими границами заливок, поэтому производится предобработка растров, преобразование палитры космического снимка в шкалу серого. Процесс векторизации разбивается на ряд шагов [9] (рис. 3). Привязка растра осуществляется с помощью исходной карты-подложки (рис.1).

Шаг 3. Создание слоев градостроительной информации. Тематические слои выделяются в соответствии с задачей мониторинга. При рассмотрении зон «жилая застройка», «парки», «дороги» можно выделить соответствующие полигональные и линейные слои.

Шаг 4. Экспорт векторного снимка в ArcGIS (SHP-файлы), послойное представление полученной векторной карты в ArcGIS [10, 11]. В данной работе векторизована только часть космоснимка (центр города), созданы три векторных слоя («застройка», «парки», «дороги»).

Шаг 5. Создание базы пространственных данных в ArcGIS [11], содержащей необходимые для анализа тематические слои, добавление атрибутивной информации каждого слоя.

На рис. 4 представлены фрагменты слоев и их атрибуты. Например, слой «застройка» имеет такие атрибуты, как площадь, периметр, этажность; «парки» – название парка, площадь, периметр; «дороги» – название улицы (проспекта), длина (протяженность) и т.п.

Шаг 6. Расчёт пространственных характеристик отдельных объектов и слоев. Площадь и периметр полигонов зданий и парков, длина линий дорог определяются с помощью инструментария Calculate Geometry. В результате таблица атрибутов пополняется новыми полями (с посчитанными площадями и периметрами полигонов под застройкой, под парками, длинами дорог).



Рис. 3. Технологическая цепочка процесса векторизации космического снимка

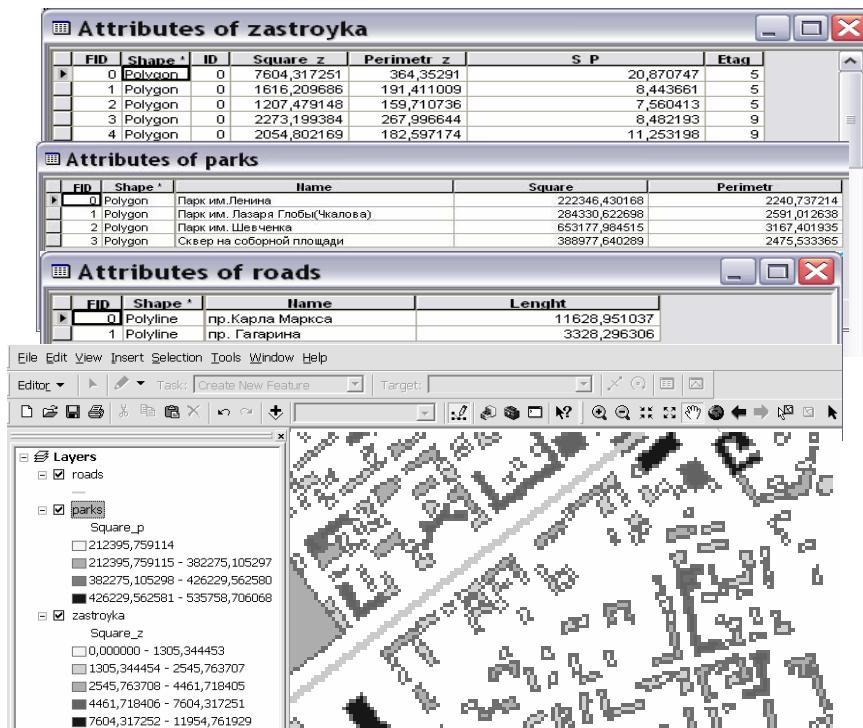


Рис. 4. Фрагменты слоев «застройка», «парки», «дороги» с атрибутами

При расчете пространственных характеристик надо учитывать, что единицы измерения соответствуют исходным единицам. Если данные представлены в географической системе координат, то получаемые по умолчанию значения площадей в десятичных градусах (что неприемлемо). Если данные в неизвестной системе координат, и единицы измерения также не заданы, то расчеты могут быть произведены, однако единицы измерения останутся неизвестными.

Шаг 7. Разработка программного приложения в ArcMap для вычисления требуемых характеристик объектов в среде ArcGIS осуществляется на языке Visual Basic for Applications (VBA), который встроен в ArcCatalog и ArcMap. С его помощью расширяют ArcGIS новыми командами, инструментами, меню и модулями, получают доступ к объектам приложения с целью управления данными, установки различных видов представления карт.

Например, для картографического моделирования взаимосвязи зон (полигонов) застройки в разные моменты времени разрабатывается и подключается в ArcGIS программа для расчета коэффициента соответствия площадей (рис. 5):

$$K_{CAC} = \frac{S(C)}{S(A) + S(B) + S(C)},$$

где А – зона застройки в момент времени T_1 , В – в момент времени T_2 , С – в моменты T_1 и T_2 ; соответственно $S(A)$, $S(B)$, $S(C)$ – площади зон А, В, С.

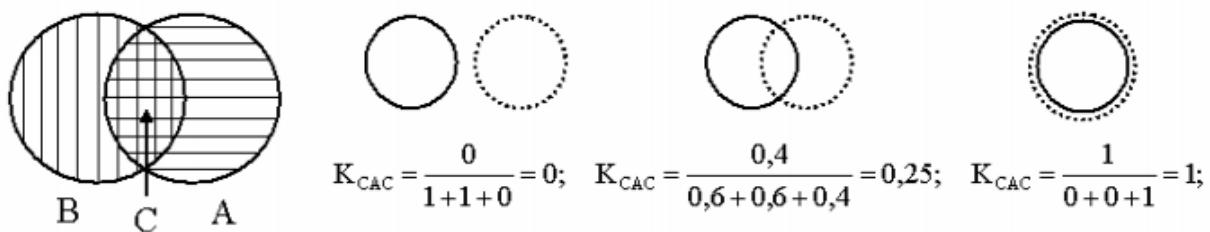


Рис. 5. Подсчет коэффициента соответствия площадей

Шаг 8. Подсчет показателей (озеленения, площади под строениями, под парками, отношения площадей) для анализа городской застройки. Оценка густоты настройки, соответствия площадей зон застройки в разные моменты времени.

Шаг 9. Анализ полученных характеристик.

Совмещение разновременных векторизованных космоснимков позволяет выделять участки, на которых произошли изменения за период между космическими съемками. Пространственное расположение объектов исследуется при помощи анализа размещения, связей и других взаимоотношений объектов и их атрибутов. Основные ГИС-операции при этом: оверлей (определение принадлежности точки полигону, линии полигону, полигона полигону; наложение двух полигональных слоев; уничтожение границ одноименных классов полигонального слоя с порождением нового слоя; определение линий пересечения объектов; объединение объектов одного типа), буферизация, анализ близости, сетевой анализ.

В оверлейных операциях участвуют два и более слоев, имеющих похожий географический охват; объекты этих слоев перекрывают, пересекают или примыкают друг к другу (например, пересечение слоя «застойка» векторизованного космоснимка и слоя границ районов для дальнейшего подсчета густоты застройки в районах города).

Шаг 10. Зонирование территории, актуализация градостроительной информации более «свежими» данными о застройке города, взятыми с космического снимка. Сопоставление объектов оцифрованного с космического снимка тематического слоя с информацией, имеющейся в соответствующих исходных картах, позволяет специалистам определить здания, имеющие признаки самовольного строительства, а также земельные участки, используемые не по назначению.

В задачах зонирования города по одному атрибуту («этажность застройки», «площадь парка») используются схемы классификации «естественная разбивка», «квантиль», «стандартное отклонение», «равные интервалы» [12]. Уточнение границ существующих градостроительных зон производится путем наложения соответствующего векторного слоя на карту зонирования (рис. 1).

Выводы. Предложена ГИС-технология мониторинга городской застройки на базе обработки и анализа космических снимков, включающая векторизацию, создание пространственной базы данных, ГИС-анализ слоев градостроительной информации, зонирование территории. Апробация технологии на реальных данных (космическом снимке и картах центра Днепропетровска) свидетельствует о целесообразности ее внедрения для решения задач оперативного мониторинга городской застройки.

Список литературы

1. Карпінський Ю., Лященко А. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні – К., 2006. – 108 с.
2. Применение ГИС при разработке градостроительной документации // Эл. ресурс. URL: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_40/11_grad.html
3. Скатерников С. ГИС в градостроительном проектировании и управлении территориями // Эл. ресурс. URL: <http://www.cl.spb.ru/enko>
4. Информационные системы обеспечения градостроительной деятельности для муниципальных образований // Эл. ресурс. URL: <http://www.gradkadastr.ru>
5. Базарнова Н.В., Додоенко Т.Е., Куценко Т.А., Лелюх С.А., Чернов В.В. Градостроительное дешифрирование космических снимков высокого разрешения //Учен. записки ТНУ, сер. Геогр., Т.19 (58) – 2006.– С.9-13.
6. Космические исследования для градостроительства. – Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1981. – 176 с.
7. Державні будівельні норми України. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень. ДБН 360-92**. – Київ.– Укрархбудінформ. – 2002.
8. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: Монография. - Новосибирск: СГГА, 2004. - 260 с.
9. Easy Trace - интеллектуальное программное обеспечение для векторизации карт // Эл. ресурс. URL: <http://www.easytrace.com/site/russian/easytracepro/download.html>
10. Минами М. ArcMap: Руководство пользователя – ESRI Press, Пер. с англ. – Data+ LTD, 2004. – 508 с.
11. Маккой Д. ArcGIS9: Работа с базами геоданных – ESRI Press, Пер. с англ. – Data+ LTD, 2001. – 227 с.
12. Сарычева Л.В. Компьютерный эколого-социально-экономический мониторинг регионов. Геоинформационное обеспечение. Монография. – Днепропетровск: НГУ, 2003. – 174 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О. В.
Надійшла до редакції 29.10.10*

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ АЛМАЗОНОСНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ АНГОЛА

Даны характеристики коренных и россыпных месторождений алмазов Анголы. На территории страны выделены основные площади, в пределах которых обнаружены кимберлитовые тела. Приведены параметры крупных месторождений с учетом перспективы их освоения. Представлена карта алмазоносных районов с указанием разведанных и разрабатываемых месторождений. Выделены первоочередные перспективные к разработке месторождения.

Надані характеристики корінних та розсипних родовищ діамантів Анголи. На території країни виділені основні площини, в межах яких знайдені кімберлітові тіла. Наведені параметри крупних родовищ з урахуванням перспективи їх освоєння. Представлена карта діамантоносних районів з вказівкою розвіданих розробляємих родовищ. Виділені першочергові перспективні для розробки родовища.

Characteristics and placer deposits of diamonds in Angola. In the country, highlights the main square, within which are found kimberlite body. The parameters of large deposits from the perspective of their development. The card of diamond-bearing areas showing proven and emerging fields. Top priority to the development of promising deposit.

Общая оценка состояния сырьевой базы алмазоносной промышленности Республики Ангола. По производству алмазов Ангола занимает третье место среди африканских стран после ЮАР и Ботсваны. Алмазная промышленность страны начала быстро развиваться в 2002 г. после окончания 27-летней гражданской войны. В 2007 г. в Анголе добыто 9,7 млн. кар алмазов общей стоимостью 1,27 млрд. дол. По данным ангольской государственной алмазной компании Endiama, запасы алмазов коренных (кимберлитовых) месторождений страны оцениваются в 500-600 млн. кар, россыпных аллювиальных месторождений – в 150 млн. кар.

Основные запасы алмазов сосредоточены в провинции Лунда Северная на северо-востоке страны (рис.1), где выделяются два алмазоносных района: Лунда-Норт и Кванго. В районе Лунда-Норт обнаружены как коренные, так и россыпные месторождения алмазов; в районе Кванго, расположенном в долине одноименной реки, известны богатые алмазные россыпи. В пределах провинций Бие и Маланже выделен алмазоносный район Кванза-Бие, однако планомерных геологических работ там не проводилось, а обнаруженные россыпи отрабатываются исключительно старательским способом.

На территории страны выделяют десять площадей, в пределах которых обнаружены кимберлитовые тела: Лунда в провинции Лунда Северная; Кванго-Кукумби в бассейнах рек Каквило, Кукумби в верховьях р. Кванго; Кванза в бассейне верховьев р. Кванза; Кунене-Катумбела в истоках рек Кунене и Катумбела; Лонга в истоках одноименно реки; Кассинга, Кубанго, Лубанго и Кунене.

Кимберлитовые тела алмазоносного района Лунда-Норт в большинстве своем пространственно приурочены к долинам рек Луэмбе, Чиумбе, Луанге,

Чикапа и др. и группируются в кимберлитовые поля, крупнейшие из которых – Камафука-Камазамбо, Камутуэ, Камачия и Катока. В низовьях этих рек обнаружены россыпные месторождения алмазов – Фукаума, Луарика, Лушинге.

Крупнейшим кимберлитовым телом в поле Камафука-Камазамбо является одноименная трубка. Эта диатрема, являющаяся самой крупной в мире, находится в долине р.Чикапа, вблизи г.Лукапа; размер ее сечения на дневной поверхности – 3,2 x 0,2-0,6 км, площадь – 150 га. Подсчитанные ресурсы трубки Камафука-Камазамбо до глубины 145 м составили 23,25 млн. кар алмазов при среднем содержании их в руде 0,111 кар/м³. В 2005 г. официально утвержден проект строительства рудника Камафука, в котором 18% принадлежит британской компании Mwana Africa plc, однако ввиду отсутствия финансирования работы до сих пор не начаты.

Трубка Камутуэ, крупнейшая в кимберлитовом поле Камутуэ, расположена в долине р.Луашимо, в 20 км к востоку от г.Лукапа; ее площадь составляет 9,3 га, размеры выхода на поверхность 550 x 250 м. Промышленная добыча алмазов на месторождении Камутуэ ведется австралийской компанией Resource & Investment NL с июня 2007 г. С апреля по июнь 2008 г. на руднике в процессе подготовительных работ было добыто 7,5 тыс. кар. алмазов, средняя цена которых составила 494 дол/кар.

Кимберлитовое поле Камачия находится в долине р.Чикапа. В его пределах выделяются две крупные трубки: Камачия размерами 650 x 450 м и Камажику площадью 20,7 га. По результатам оценочных работ, проведенных в начале 70-х годов, трубка Камачия до глубины 300 м содержит 3 млн. кар подтвержденных и перспективных запасов и около 10 млн. кар предполагаемых запасов алмазов. Вероятные запасы алмазов трубки Камажику до глубины 100 м – 730 тыс.кар.

В 2002 г. АК «АЛРОСА» и португальская компания Escom Mining Inc объявили о создании совместного предприятия для освоения месторождений Камачия и Камажику, известного как проект Луо. К ним присоединились английские компании Endiama, Hipergesta и Angodiam, которым принадлежит 55% проекта. Добыча началась в мае 2005 г. В 2007 г. на руднике извлечено 204 тыс.кар алмазов. К середине 2010 г. планируется добывать 180 тыс. каратов алмазов в месяц.

В кимберлитовом поле Катока самой крупной является трубка того же названия, почти идеально круглой в плане формы (900 x 900 м), площадью 66,2 га. В результате проведенных геологических исследований ресурсы трубки Катока до глубины 600 м оценены в 189 млн. кар алмазов общей стоимостью около 11 млрд дол. Для добычи и реализации алмазов трубки Катока в 1992 г. создано горнорудное общество Catoca Ltd. (ГРО «Катока Лтд.»), в которое вошли АК «АЛРОСА» (32,8%), английская государственная компания Endiama, бразильская Odebrecht Mining Services Inc. и израильская Daumonty Finance. Мощности ГРО «Катока» составляют 7,5 млн. т руды в год, доход от реализации алмазов в 2007 г. составил 451,4 млн. дол.

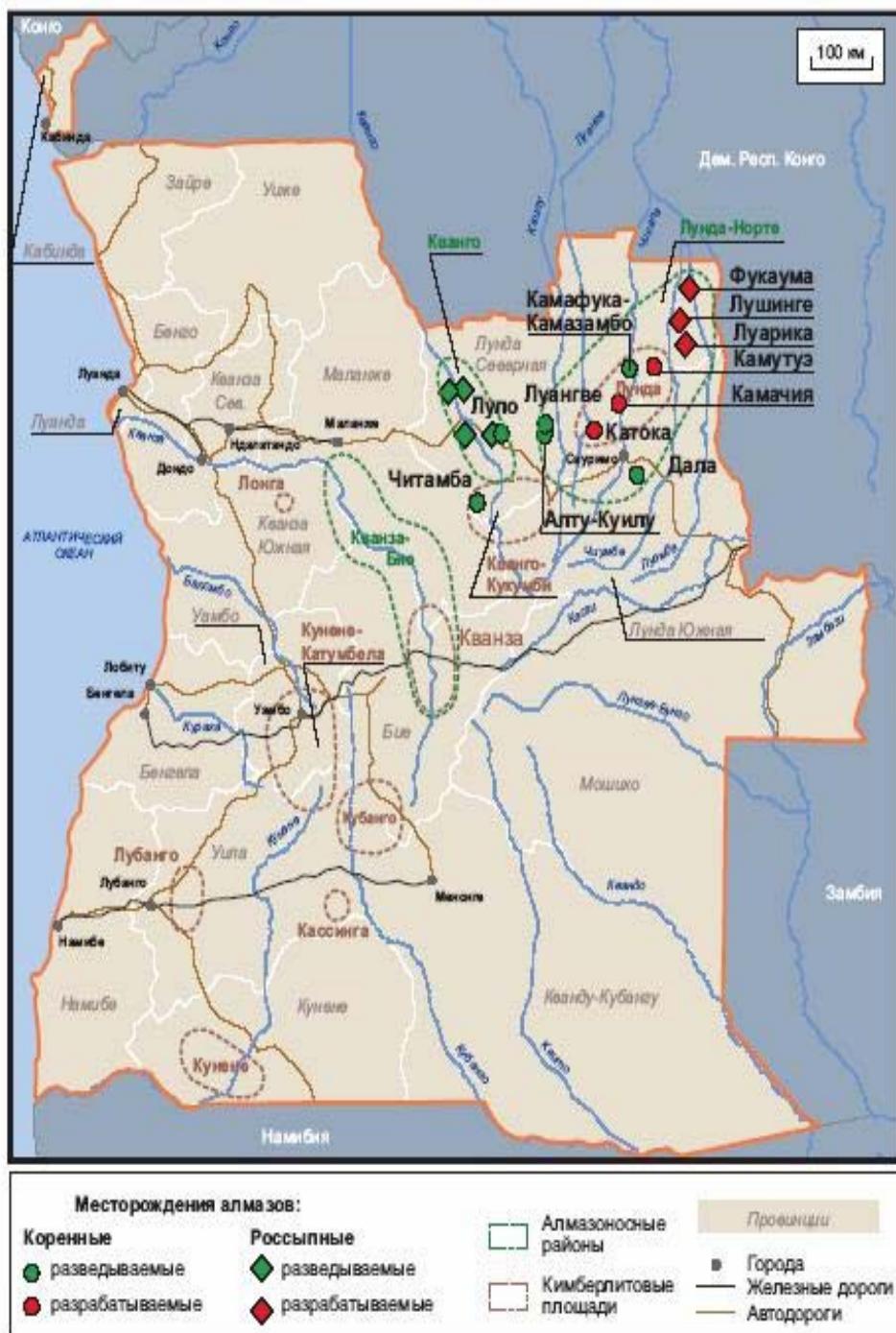


Рис.1. Карта алмазоносности Анголы

В связи с падением спроса на алмазы на мировом рынке из-за финансово-го кризиса «АЛРОСА» в конце января 2009 г. объявила о приостановке геоло-горазведочных работ на руднике Катока до конца 2009 г. Представители «АЛ-РОСА» заявили, что работы будут возобновлены после того, как спрос на алма-зы на мировом рынке восстановится. Однако «АЛРОСА» не планирует «кон-сервировать» производство в Анголе и ждет от правительства страны принятия стимулирующих мер.

Промышленная разработка россыпных алмазов ведется в алмазоносном районе Лунда-Норте. В январе 2009 г. шведская компания International Gold Exploration (IGE) начала добычу алмазов из россыпей месторождения Лушинге

(Luxinge) в провинции Лунда Северная. По информации компании, ресурсы месторождения Лушинге составляют 750 тыс.кар алмазов, запасы – 249,151 тыс.кар, средняя стоимость алмазов – 200-250 дол./кар. Как следует из заявления компании, фаза запуска проекта будет непродолжительной, и прибыль, получаемая от добычи алмазов, будет направлена на возмещение инвестиций, а также на расширение объемов добычи россыпных алмазов и разведку коренных алмазов. В предприятии, разрабатывающем россыпное месторождение Лушинге, компании IGE принадлежат 42% акций, Endiama – 18%, ангольским частным компаниям – 40%. К марту производство алмазов достигнет 3 тыс.кар в месяц, и в течение следующих 6 месяцев будет проведено исследование возможностей расширения производства до 6-10 тыс.кар в месяц.

Южноафриканская компания Trans Hex Group ведет отработку россыпных алмазных месторождений Луарики и Фукаума, расположенных в долине р.Чиумбе. Добыча на месторождении Луарики в 2008 г. выросла на 16%, составив 88,5 тыс.кар (в 2007 г. добыто 76 тыс.кар), среднее содержание алмазов – 12,6 кар/100 куб.м. Вероятные запасы месторождения Луарики оцениваются в 179,59 тыс. кар алмазов.

На месторождении Фукаума добыча, наоборот, упала с 73 тыс.кар в 2007 г. до 41,8 тыс.кар в 2008 г. Вероятные запасы алмазов месторождения Фукаума составляют 219,228 тыс.кар. Trans Hex планирует увеличить добычу алмазов на месторождении Фукаума, отработка которого рассчитана на четыре года.

Перспективы освоения месторождений алмазов в Республике Ангола.

В Анголе интенсивно ведутся геологоразведочные работы (ГРР) по алмазам. Так, только в 2008 г. в стране создано около 20 новых совместных предприятий, которые в общей сложности инвестировали в геологоразведочные работы по алмазам более 100 млн дол.

Австралийская компания Lonrho Mining в январе 2009 г. заявила о том, что бурение на первых шести участках концессионной площади Луло в алмазоносном районе Кванго показало высокие содержания минералов-индикаторов алмазов, в связи с чем планируется ускорить темпы разведочного бурения. Lonrho обнаружила также более 200 магнитных аномалий, которые могут указывать на наличие кимберлитовых трубок. Всего на площади Луло выявлено 29 кимберлитовых трубок и две алмазные россыпи.

К северо-востоку от площади Луло, в алмазоносном районе Лунда-Норте, расположены перспективные по содержанию алмазов площади Алту-Куилу и Луангве, которые в мае 2008 г. были приобретены британской компанией Petra Diamonds. Первоначально Petra Diamonds планировала потратить 20 млн. дол. на доразведку площадей, однако в связи с финансовым кризисом ее планы изменились.

На площади проекта Алту-Куилу, составляющей 670 км^2 , выявлено 249 магнитных аномалий, вскрыто 81 кимберлитовое тело. Petra Diamonds разработала программу, нацеленную на выявление алмазного потенциала кратерных фаций кимберлитов и уже получила первые результаты: из пробы весом 2877 кг, взятой на трубке AC16, было извлечено 273,38 кар алмазов. Однако специалисты компании Petra не были в полной мере удовлетворены результа-

тами разведки и компания приняла решение не продолжать ее и выйти из проекта Алту-Куилу, бесплатно передав его ангольской государственной компании Endiama.

Площадь Луангве, занимающая 8 тыс.га, расположена севернее площади Алту-Куилу. В ходе аэромагнитной съемки, проведенной Petra Diamonds, здесь выявлено 138 магнитных аномалий и пять кимберлитовых тел; позже компания Petra обнаружила еще четыре кимберлитовые трубки. Решение о продолжении геологоразведочных работ на площади Луангве компанией Petra Diamonds еще не принято.

Совместное предприятие канадской фирмы Moydow Mines International Inc. (40%), ангольских государственной компании Endiama (51%) и частной Cimader-Comercio General Ltda (9%) продолжает бурение на площади алмазного проекта Даля в провинции Лунда Южная, близ г. Сауримо. Величина площади проекта Даля – около 3 тыс.км². В сентябре 2008 г. появилась информация об обнаружении здесь четырех кимберлитовых тел.

Канадская компания Metalex Ventures Limited в ноябре 2008 г. заявила об обнаружении еще девяти потенциально алмазоносных кимберлитовых трубок в верховьях р. Кванго, на площади принадлежащего ей проекта Читамба. Всего компанией обнаружены 22 кимберлитовые трубки; пробы кимберлитов из 18 трубок отправлены в Канаду для изучения.

Компания Endiama в январе 2009 г. заявила о необходимости большей сплоченности и сотрудничества участников алмазной индустрии страны в условиях нестабильности в финансовом секторе.

Таким образом, несмотря на мировой экономический кризис, Endiama объявляет о планах увеличения производства алмазов на 10% до 10 млн. кар. Компания зарезервировала более ста перспективных на обнаружение алмазов площадей для передачи их в концессию частным компаниям. По заявлению Endiama, для инвесторов открыты все провинции страны; имеется 61 перспективное для инвестирования предприятие, из которых 14 занимаются добычей алмазов, 17 ведут разведочные и 30 – поисково-оценочные работы на алмазы.

Анализ гоногеологических условий залегания коренных и россыпных месторождений Республики Ангола показывает, что большинство из них перспективны для промышленного освоения открытым способом разработки. Предварительные исследования показали, что наиболее перспективными являются кимберлитовые трубки Камафука, Катока, Кекеле, Камитонгу-1, Камитонгу-2, Камутуз, Камачия.

Первоочередными из них являются трубки Камафука и Катока, которые в настоящее время находятся на стадии освоения. Для повышения эффективности освоения этих месторождений необходимо выполнить комплекс исследований по установлению конечных контуров карьера и усовершенствованию системы разработки.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.
Надійшла до редакції 02.11.10*

СТІЙКІСТЬ СТУПІНЧАСТОГО КАНАТА НА БАРАБАНІ МАШИНИ ПІДЙОМУ ПІДВОДНОГО РОБОТА

Досліджено умови втрати сталої форми бобіною, утвореною багатошаровим намотуванням плоского гумотросового каната ступінчастої конструкції на барабані машини підйому підводного робота.

Исследованы условия потери устойчивой формы бобиной, образованной многослойным наматыванием резинотросового каната ступенчатой конструкции на барабане машины подъёма подводного робота.

The conditions for the loss sustained bobbin's form of machine lifting an underwater robot caused by multi-layered laying of rope with variable width are investigated in the article.

Вступ. Світовий океан займає значну частину земної поверхні. Обмеженість ресурсів, розташованих на суходолі в наступні часи має бути скомпенсована видобутком корисних копалин з дна морів, включно і з надвеликих глибин. Видобуток корисних копалин зі значної глибини вимагає контролю за підводним обладнанням з використанням спеціальних роботів. Зростання глибин підйому вантажів супроводжується зростанням маси каната та відповідним зниженням реальної вантажопідйомності машини. Підвищення міцності канатів традиційними способами, такими як збільшення діаметрів канатів, їх кількості пов'язано зі збільшенням габаритів підйомної машини.

Застосування гумотросового каната (ГТК) в якості головного замість традиційного круглого каната не вимагає значного зростання ширини барабана та дозволяє навіть зменшити його діаметр. Зменшення маси каната, збільшення кінцевого навантаження може бути досягнуто використанням канатів змінного поперечного перерізу, якій можна реалізувати використав відому конструкцію плоского гумотросового каната, заклавши у гумову оболонку 1 троси 2 різної довжини, як показано на рис. 1.

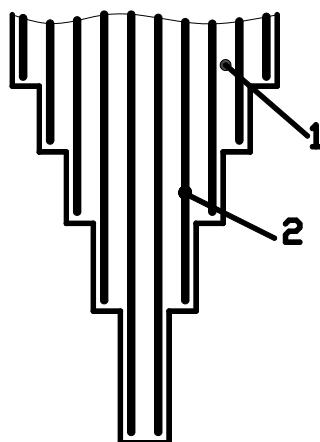


Рис. 1. Схема гумотросового каната ступінчастої конструкції:
1 – гумова оболонка, 2 – троси

В такому канаті кількість тросів за його довжиною змінюється – зменшується від барабана до кінця приєднання корисного вантажу. При цьому довжина кожної ступені обирається з умови рівної міцності усіх ділянок каната. Укладені в канат троси мають попарно-протилежний напрямок закручування. З метою додержання врівноваженості крутних моментів, троси закінчуються в конструкції попарно. Отже, зміною конструктивних елементів та поперечного перерізу досягається можливість забезпечення рівноміцності тягового каната за довжиною при зменшенні маси каната та збільшенні кінцевого навантаження та глибини підйому, за рахунок чого покращуються експлуатаційні характеристики підйомної машини – збільшується глибина підйому при існуючих її габаритних розмірах.

Плоский ступінчастий канат при роботі машини намотується на барабан в декілька шарів, утворюючи бобіну (рис. 2). Ступінчасте зменшення ширини каната збільшує можливість втрати сталої форми бобіни та унеможливлення роботи машини підйому підводного робота. Таким чином, визначення умов втрати бобіною її форми – **актуальна задача**.



Рис. 2. Плоский канат ступінчастої конструкції на барабані машини підйому підводного робота

Стан питання. Дослідженнями напруженого стану гумотросових стрічок та канатів займалися ряд вчених [1, 2] та інші. На доцільність використання гумотросових канатів при видобутку сировини з великих глибин вказувалося в роботі [3]. У роботі Л.В. Колосова [4] доведені доцільність і ефективність створення нових підйомних машин з ГТК для значних глибин підйому і кар'єрних підйомників великої вантажопідйомності, обумовлені високою тяговою здатністю гумотросового каната. Роботи К.С. Заболотного [5], М.В. Полушкиної [6] присвячені створенню бобінних підйомних машин з гумотросовими канатами. Подальший розвиток цього напрямку здійснено в роботі Панченко О.В. [7].

У роботах вказаних авторів розроблена математична модель каната, досліджений напруженій стан гумотросових стрічок та канатів з пошкодженими

тросами, але не вивчалися питання впливу дискретного зменшення кількості тросів в канаті на втрату сталої форми бобіни.

Мета роботи – дослідження умов втрати сталої форми бобіною, утвореною багатошаровим намотуванням плоского гумотросового каната ступінчастої конструкції.

Постановка задачі. Під час багатошарового намотування каната ступінчастої конструкції на виконавчий орган підйомної машини, ступені меншої ширини укладаються на шари, утворені попередньою більш широкою ступенем. Отже, багатошарове намотування плоского каната на циліндричну оправку в підйомній машині з бобінним виконавчим органом має складну форму. Переріз намотаного каната площиною, що проходить через вісь обертання бобіни показано на рис. 3.

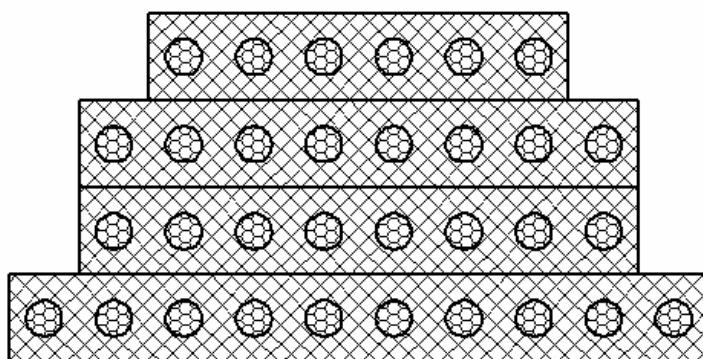


Рис. 3. Переріз каната змінного перерізу, намотаного в декілька шарів

Розглянемо умови втрати сталої форми тіла, що утворене багатошаровим намотуванням плоского каната ступінчастої конструкції на барабан підйомної машини.

Основний зміст роботи і результати дослідження. Будемо вважати, що канат має троси діаметром d , розташовані з кроком t в площині каната та запресовані у гумову оболонку. Діаметр барабана, на який намотується канат, значно перевищує його товщину. Це дозволяє знехтувати згином каната в його площині та вважати кожний шар плоским. В цьому випадку деформації нормальних перерізів шарів каната відсутні – плоскі. З цієї багатошарової конструкції виріжмо відрізок одиничної довжини.

В межах прийнятої постановки задачі, тіло, утворене намотаною К-тою ділянкою каната, навантажене зовнішнім тиском та має форму призми. Умови стійкості призми можуть бути визначені методом Ейлера – за критичним зусиллям

$$N < \frac{\pi^2 E J}{L^2} \quad (1)$$

де J – момент інерції перерізу стрижня; L – висота стрижня.

В нашому випадку висота стрижня

$$L = m_K(d + 2\Delta),$$

де m_K – кількість укладених шарів K -тої ступені каната; Δ – товщина обкладинки каната.

Розміри перерізу стрижня одиничної ширини

$$1 \times (n_K t + d),$$

де n_K – кількість тросів в K -тій ступені каната.

Силу стискання стрижня одиничної ширини задамо через натягнення каната при намотуванні K -тої ступені та радіус укладення чергового шару каната

$$N = \frac{T_K}{R + \sum_{k=1}^K m_k(d + 2\Delta)}, \quad (2)$$

де R – радіус барабана підйомної машини.

Врахувавши визначені параметри із залежності (1) маємо

$$\frac{T_K}{R + \sum_{k=1}^K m_k(d + 2\Delta)} < \frac{\pi^2 E (n_K t + d)^3}{12 m_K^2 (d + 2\Delta)^2}. \quad (3)$$

Виокремивши із суми складових m_K в залежності (3), маємо нерівність

$$m_K^2 - m_K \frac{(d + 2\Delta) \pi^2 E (n_K t + d)^3}{T_K 12 (d + 2\Delta)^2} - \left[R + \sum_{k=1}^{K-1} m_k (d + 2\Delta) \right] \frac{\pi^2 E (n_K t + d)^3}{12 T_K (d + 2\Delta)^2} < 0,$$

яка дозволяє визначити або максимальну кількість шарів, або радіус барабана підйомної машини.

Так з квадратного рівняння, врахувавши те, що кількість шарів не може бути від'ємна, маємо максимально допустиму кількість шарів K -тої ступені каната

$$m_K < \frac{\pi^2 E (n_K t + d)^3}{24 T_K (d + 2\Delta)} + \sqrt{\left(\frac{\pi^2 E (n_K t + d)^3}{24 T_K (d + 2\Delta)} \right)^2 + \left[R + \sum_{k=1}^{K-1} m_k (d + 2\Delta) \right] \frac{\pi^2 E (n_K t + d)^3}{12 T_K (d + 2\Delta)^2}}.$$

Залежність (3) дозволяє визначити і допустимий радіус, коли задана кількість шарів

$$R < \frac{12T_K m_K^2 (d + 2\Delta)^2 - \sum_{k=1}^K m_k (d + 2\Delta) \pi^2 E(nt + d)^3}{\pi^2 E(n_K t + d)^3}.$$

Вище розглянуто умову стійкості останньої намотаної на бобіну ступені канату. Водночас, кожна попередня ступень каната, включно і перша, уявляють собою стрижень, що працює в умовах поздовжнього стискання. Висота кожного такого стрижня включає і висоту усіх вище розташованих шарів. Прийнявши, що розміри перерізу кожного такого стрижня дорівнюють розмірам в нижній його частині, із залежності (1), подібно вище виконаним діям, отримаємо залежність, якій має задовольняти кожна r -та схема намотування ділянок каната

$$12 \left(\sum_{k=r}^K m_k (d + 2\Delta) \right)^2 T_K < \left(R + \sum_{k=1}^K m_k (d + 2\Delta) \right) \pi^2 E(n_r t + d)^3.$$

Відзначимо, що при визначені умов сталості враховано те, що із зростанням кількості шарів намотаних на барабан підйомної машини, зменшується і тягове зусилля на величину сили тяжіння намотаної частини каната.

Висновки. На сталість тіла намотки кожної із ступеней каната впливають кількість шарів, конструкція каната. При заданій кількості шарів радіус барабана має задовольняти умові

$$R < \frac{12T_K m_K^2 (d + 2\Delta)^2 - \sum_{k=1}^K m_k (d + 2\Delta) \pi^2 E(nt + d)^3}{\pi^2 E(n_K t + d)^3}.$$

При прийнятому радіусі можна визначити допустиму кількість шарів намотування каната для довільної K -тої ступені

$$m_K < \frac{\pi^2 E(n_K t + d)^3}{24T_K(d + 2\Delta)} + \sqrt{\left(\frac{\pi^2 E(n_K t + d)^3}{24T_K(d + 2\Delta)} \right)^2 + \left[R + \sum_{k=1}^{K-1} m_k (d + 2\Delta) \right] \frac{\pi^2 E(n_K t + d)^3}{12T_K(d + 2\Delta)^2}}.$$

Для кожної із r ступенів каната має виконуватися ще і залежність сталості форми блоку ступенів, що розташовуються на попередній

$$12 \left(\sum_{k=r}^K m_k (d + 2\Delta) \right)^2 T_K < \left(R + \sum_{k=1}^K m_k (d + 2\Delta) \right) \pi^2 E(n_r t + d)^3.$$

При проектуванні підйомної машини з канатом змінного перерізу для кожної ступені має виконуватися умова обмеження кількості шарів каната, або радіусу барабана для кожної ступені та включно в системі усіх ділянок каната, укладених на попередню ступень.

Список літератури

1. Бельмас И.В. Научные основы теории и расчета резинотросовой ленты конвейера с учетом его пространственной формы: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.06., 01.02.06. – Днепропетровск, 1993. – 360 с.
2. Колосов Д.Л. Обґрунтування параметрів та конструкцій двошарових гумотросових конвеєрних стрічок для гірничих підприємств. Дис... канд. техн. наук: 05.05.06. – Дніпропетровськ, 2002. – 164 с.
3. Колосов Л.В., Сафонов Ю.Л. Перспективы применения резинотросовых канатов для глубоководных систем подъема // Современные пути развития горного оборудования и технологий переработки минерального сырья: Материалы междунар. науч.-техн. конф. – Днепропетровск, 1996. – С. 57-58.
4. Колосов Л.В. Научные основы разработки и применения резинотросовых канатов подъемных установок глубоких рудников. – Дис... докт. наук: 05.05.06, 01.02.06. – Днепропетровск, Инст. геотехн. мех. АН УССР. 1987. – 426 с.
5. Заболотный К.С. Исследование особенностей механики и выбор рациональных параметров бобинных подъемных машин с резинотросовым канатом: Дис.... канд. техн. наук: 05.05.06. – Днепропетровск, 1979. – 248 с.
6. Полушкина М.В. Исследование и обоснование рациональных параметров бобинной подъемной машины с ведущими шкивами трения и резинотросовым тяговым органом: Дис... канд. техн. наук: 05.05.06. – Днепропетровск, 1990. – 253 с.
7. Панченко Е.В. Определение расчетных нагрузок в витках многослойной намотки резинотросового каната:.. Дис... канд. техн. наук: 05.02.09 – Днепропетровск, НГУ, 2007. – 206 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.
Надійшла до редакції 04.11.10*

УДК 622.831.3:681.583.3

© В.І. Голінько, А.К. Котляров

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ШИРОКОДИАПАЗОННЫХ АНАЛИЗАТОРОВ МЕТАНА

Виконано аналіз існуючих методів контролю вмісту метану придатних для створення універсальних широкодіапазонних газоаналізаторів. Обґрутований метод з використанням двокамерного термокatalітичного датчика з різним температурним режимом чутливих елементів.

Выполнен анализ существующих методов контроля содержания метана пригодных для создания универсальных широкодиапазонных газоанализаторов. Обоснован метод с использованием двухкамерного термокаталитического датчика с разным температурным режимом чувствительных элементов.

The analysis of existent methods control maintenance methane of suitable for creation universal analyzers methane is executed with the wide range measuring. A method is grounded with the use of sensor with the different temperature condition sensible elements, which contains two chambers.

Одной из наиболее актуальных проблем для горной промышленности является борьба с взрывами метана. Среди мероприятий, направленных на профилактику взрывов метана, важная роль отводится контролю его содержания в рудничной атмосфере.

Существующие анализаторы метана обеспечивает надежный контроль его содержания в основном в диапазоне объемных долей 0-2,5%. Однако в ряде

случаев, например при пожарах и внезапных выбросах угля, породы и газа, когда существенно изменяется газовый состав рудничной атмосферы и в горных выработках образуются газовые смеси с высокой концентрацией метана, существующие анализаторы оказываются неработоспособными, что затрудняет принятие решений, направленных на спасение людей и ликвидацию аварии.

Целью настоящей публикации является обоснование методов контроля состава газовых смесей, позволяющих создать универсальные широкодиапазонные анализаторы метана с диапазоном измерения его объемной доли 0-100%.

В известных широкодиапазонных анализаторах метана одновременно использовались термокаталитический и термокондуктометрический методы измерения [1]. Они включали две мостовые схемы для измерения соответственно низких и высоких концентраций метана. Первая схема содержала каталитически активный и компенсационный элементы, которые контактировали с контролируемым газом. Компенсационный элемент первого моста являлся частью второй мостовой схемы, в которой он выполнял функции чувствительного элемента. Вторая мостовая схема содержала также элемент, защищенный от контролируемого газа, который в этом мосте является компенсационным. Анализаторы включают также элементы для коммутации напряжения питания обеих мостовых схем в зависимости от концентрации контролируемого газа.

В результате того, что датчики низкой и высокой концентрации метана постоянно включены в аппаратуре отсутствуют переходные процессы, связанные с разогревом датчиков. Исключение переходных процессов, связанных с разогревом чувствительных элементов повышает надежность системы газового контроля. Однако, одновременное применение двух датчиков усложняет конструкцию анализаторов, они имеют сравнительно большое энергопотребление, что ограничивает применение указанного принципа в переносных приборах индивидуального, группового пользования и в сигнализаторах метана, соединенных с головными светильниками.

Указанный недостаток устранен в других разработках путем одновременного использования сравнительного элемента термокаталитического датчика в датчике теплопроводности и поочередного включения термокаталитического датчика и датчика теплопроводности. Так в одном из вариантов анализаторов [2] при повышении содержимого горючего газа выше указанного уровня первый мост, содержащий каталитически активный элемент, отключается и включается второй мост, который работает на кондуктометрическом принципе. При этом компенсационный элемент второй мостовой схемы, отключенный и холодный в начальном состоянии, начинает разогреваться, и измерение вторым мостом возможно только после окончания переходного процесса, связанного с разогревом компенсационного элемента. В это время измерения содержимого метана не происходит, что снижает надежность газового контроля.

В последующих разработках аппаратуры газового контроля [3], в отличие от описанного ранее анализатора [2] с целью упрощения конструкции и снижения энергопотребления как датчик метана высоких концентраций используется только компенсационный чувствительный элемент термокаталитического дат-

чика. Информационным параметром при этом является величина напряжения на сравнительном элементе при питании его от источника стабильного тока.

Использование сравнительного элемента термокаталитического датчика в качестве датчика теплопроводности в термокондуктометрическом сенсоре позволяет уменьшить энергопотребление, отсутствие компенсационного элемента в термокондуктометрическом датчике позволяет снизить длительность переходных процессов, связанных с его разогревом. Однако обоим рассмотренным решениям присущ ряд общих недостатков, которые приводят к сбоям в работе анализаторов и ограничивают их применение.

Для выяснения причин этих сбоев выполним анализ особенностей работы анализаторов при использовании сравнительного элемента термокаталитического датчика в качестве датчика теплопроводности. При этом рассмотрим два возможных варианта работы датчика при высоких концентрациях метана, а именно вариант когда каталитически активный элемент термокаталитического датчика не отключается и вариант согласно [2], когда при достижении порогового значения концентраций производится отключение каталитически активного элемента.

Так как при высоких концентрациях метана возможен перегрев каталитически активного элемента, приводящий к нарушению его работоспособности, первый вариант возможен при существенном ограничении диффузии контролируемой среды в реакционную камеру, например при применении датчиков с двойным диффузионным фильтром [4], или при использовании схемы включения со стабилизацией напряжения на рабочем элементе [5]. В любом случае, вследствие окисления метана на каталитически активном элементе, его концентрация в реакционной камере однокамерных датчиков будет существенно отличаться от концентрации метана в анализируемой среде. Связь между этими величинами при поступлении метана в камеру за счет диффузии обычно представляют в виде [4]

$$C_{mk} = C_{mc} \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \gamma_\vartheta}, \quad (1)$$

где C_{mk} , C_{mc} - соответственно, объемная доля метана, в смеси и камере, %: γ_ϕ - газодиффузионная проводимость фильтра $\text{м}^3/\text{с}$; $\gamma_\vartheta = 10^{-2} K_{\vartheta\phi} \beta_m F_\vartheta$ - эффективная диффузионная проводимость рабочего элемента $\text{м}^3/\text{с}$; $K_{\vartheta\phi}$ – коэффициент эффективности окисления метана; β_m – коэффициент массопередачи, $\text{м}/\text{с}$; F_ϑ – площадь поверхности элемента, м^2 .

Разница между концентрацией метана в смеси и в камере

$$\Delta C_m = C_{mc} \left(1 - \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \gamma_\vartheta} \right) \quad (2)$$

определяет величину потока метана в камеру и, следовательно, количество тепла, выделяющегося на рабочем элементе, прирост его температуры и величину выходного сигнала измерительного моста.

Следует отметить, что выражения (1) и (2) справедливы для случая, когда лимитирующим агентом в смеси газов, определяющим скорость реакции, является метан. При объемной доле метана выше 9% лимитирующим компонентом становится кислород воздуха и количество тепла, выделяющегося на рабочем элементе, будет пропорционально потоку кислорода Q_k к поверхности этого элемента [4]. Величина ΔC_m в этом случае будет снижаться - от максимального значения при объемной доле метана 9% до нуля при 100% метана в смеси. Приняв, что величина ΔC_m в данном случае снижается линейно, при объемной доле метана выше 9% выражение для определения ΔC_m примет вид

$$\Delta C_m = \frac{9(100 - C_{mc})}{91} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \gamma_3} \right). \quad (3)$$

В этом случае объемная доля метана в камере будет

$$C_{mk} = C_{mc} - \frac{9(100 - C_{mc})}{91} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_\phi}{\gamma_\phi + \gamma_3} \right). \quad (4)$$

Поток метана в камеру Q_m , окисляющийся на рабочем элементе обычно определяется как [4]

$$Q_m = \Delta C_m \gamma_\phi. \quad (5)$$

Для окисления Q_m расходуется удвоенное количество кислорода Q_k .

$$Q_k = 2Q_m. \quad (6)$$

В свою очередь поток кислорода в реакционную камеру зависит от разности концентраций кислорода в смеси и в камере ΔC_k и диффузационной проводимости фильтра для кислорода γ_{fk}

$$Q_k = \Delta C_k \gamma_{fk}, \quad (7)$$

Из уравнений (5) - (7) следует

$$\Delta C_k = 2\Delta C_m \frac{\gamma_\phi}{\gamma_{fk}}. \quad (8)$$

Учитывая линейную зависимость проводимости фильтра от коэффициентов диффузии газов [6] выражение (8) можно представить в виде

$$\Delta C_k = 2\Delta C_m \frac{D_m}{D_k}, \quad (9)$$

где D_m, D_k – соответственно, коэффициенты диффузии метана и кислорода в воздухе, $\text{м}^2/\text{с}$.

Таким образом, подача в камеру кислорода, необходимого для окисления потока метана Q_m обеспечивается при разности концентраций кислорода в сме-

си и в камере ΔC_{κ} , и, следовательно, объемная доля кислорода в камере $C_{\kappa\kappa}$ при объемной доле метана до 9% составит

$$C_{\kappa\kappa} = C_{\kappa\kappa} - \Delta C_{\kappa} = C_{\kappa\kappa} - 2C_{mc} \left(1 - \frac{\gamma_{\phi}}{\gamma_{\phi} + \gamma_{\vartheta}} \right) \frac{D_m}{D_{\kappa}}, \quad (10)$$

где $C_{\kappa\kappa}$ - объемная доля кислорода в смеси, %.

Соответственно в диапазоне более высоких концентраций метана

$$C_{\kappa\kappa} = C_{\kappa\kappa} - 2 \frac{9(100 - C_{mc})}{91} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_{\phi}}{\gamma_{\phi} + \gamma_{\vartheta}} \right) \frac{D_m}{D_{\kappa}}. \quad (11)$$

В свою очередь содержание кислорода в рудничной атмосфере линейно уменьшается по мере поступления метана. Эту связь представляют в виде

$$C_{\kappa\kappa} = 0,21(100 - C_{mc}). \quad (12)$$

В таком случае выражения (10) и (11) можно представить в виде

$$C_{\kappa\kappa} = 0,21(100 - C_{mc}) - 2C_{mc} \left(1 - \frac{\gamma_{\phi}}{\gamma_{\phi} + \gamma_{\vartheta}} \right) \frac{D_m}{D_{\kappa}}, \quad (13)$$

$$C_{\kappa\kappa} = 0,21(100 - C_{mc}) \left(\frac{\gamma_{\phi}}{\gamma_{\phi} + \gamma_{\vartheta}} \right) \frac{D_m}{D_{\kappa}}, \quad (14)$$

Окисление метано-воздушной смеси на катализаторах глубокого окисления идет согласно известной реакции



Продукты окисления за счет разности их концентраций в камере и смеси удаляются из реакционной камеры путем диффузии. Аналогично (9) разность объемной доли углекислого газа ΔC_{co_2} и водяного пара ΔC_{en} в камере и в смеси при этом составит

$$\Delta C_{co_2} = \Delta C_m \frac{D_m}{D_{co_2}}, \quad (16)$$

$$\Delta C_{en} = 2\Delta C_m \frac{D_m}{D_{en}}, \quad (17)$$

где D_{co_2}, D_{en} – соответственно, коэффициенты диффузии углекислого газа и водяного пара в воздухе, m^2/c .

С учетом наличия в анализируемой смеси углекислого газа C_{co_2c} и водяного пара C_{enc} их объемные доли в камере $D_{co_2\kappa}$ и $D_{en\kappa}$ будут равны

$$C_{co_2\kappa} = C_{co_2c} + \Delta C_m \frac{D_m}{D_{co_2}}, \quad (18)$$

$$C_{\text{внк}} = C_{\text{внс}} + 2\Delta C_m \frac{D_m}{D_{\text{вн}}}.$$
(19)

Как видно из полученных выражений состав газовой смеси в реакционной камере термокаталитического датчика существенно отличается от состава анализируемой смеси, причем с уменьшением диффузионной проводимости фильтра эти отличия увеличиваются.

Рассмотрим, как повлияют изменения газового состава в реакционной камере на результаты измерения датчиком теплопроводности, для случая $\gamma_\phi = \gamma_s$ и объемной доле метана в смеси 5 %, при которой в широкодиапазонных анализаторах обычно переходят от термокаталитического к термокондуктометрическому методу измерения. Состав анализируемой газовой смеси и смеси в реакционной камере, определенный для данного случая приведен в табл. 1. Результаты расчета теплопроводности смеси газов, для случая $\gamma_\phi = \gamma_s$ и объемной доле метана в смеси 5 %, выполненные с использованием выражений, заимствованных из [7] при различной температуре нагрева чувствительного элемента датчика теплопроводности приведены в табл. 2.

Таблица 1
Состав анализируемой газовой смеси и смеси в реакционной камере

Наименование смеси	Объемная доля компонентов смеси, %				
	CH ₄	O ₂	CO ₂	H ₂ O	Остальные
Анализируемая смесь	5	20	0	0	75
Смесь в камере при $\gamma_\phi = \gamma_s$	2,5	15,5	3,5	5,1	73,4

Таблица 2
Теплопроводность анализируемой смеси и смеси в реакционной камере

Наименование смеси	Коэффициент теплопроводности смеси $\lambda \cdot 10^3$ Вт/м·°C, при температуре термоэлемента, °C		
	400	320	210
Анализируемая смесь	40,667	37,646	33,431
Смесь в камере при $\gamma_\phi = \gamma_s$	40,362	37,119	32,729

Исходя из данных табл. 2 рассчитанное согласно [7] значение погрешности измерения, обусловленной несоответствием газового состава смеси в реакционной камере анализируемой смеси, при объемной доле метана 5% и температуре разогрева термоэлементов 400°C составляет 0,7%. Максимальное значение этой погрешности, соответствующее объемной доле метана 9%, составляет 1,26%, что в общем удовлетворяет предъявляемым требованиям к средствам контроля взрывоопасности. Однако опыт эксплуатации анализаторов метана и их исследования в лабораторных условиях [8, 9] показывают, что при наличии в рудничной атмосфере высокой концентрации метана, его высших гомологов, водорода и оксида углерода и температуре предварительного разогрева сравни-

тельного элемента термокаталитического датчика 400°C наблюдается их интенсивное окисление на данном элементе, что приводит к провалам выходной характеристики измерительного моста. Кроме того, выполненные исследования [9] показали, что при такой температуре нагрева сравнительного элемента на его поверхности происходит накопление продуктов термической деструкции углеводородов, что приводит к изменению процессов теплообмена. Все это практически исключает возможность использования сравнительного элемента в качестве датчика теплопроводности при данном тепловом режиме.

Для исключения процессов карбонизации сравнительного элемента и окисления на нем горючих газов нами предложен способ измерения, заключающийся в использовании в термокаталитических датчиках различных тепловых режимов термоэлементов [10]. В этом случае рассчитанное значение погрешности измерения, обусловленной несоответствием газового состава смеси в реакционной камере анализируемой смеси, при объемной доле метана 5% и температуре разогрева сравнительного термоэлемента 320 и 210°C, соответственно составляет 1,45 и 2,1%, а максимальное значение этой погрешности при объемной доле метана 9% соответственно составляет 2,61 и 3,78%. Как видно, при использовании в качестве датчика теплопроводности сравнительного элемента термокаталитического датчика работающего при более низкой температуре разогрева погрешность измерения из-за различий газового состава существенно возрастают.

Следует также отметить, что при уменьшении газодиффузационной проводимости фильтра состав газа в камере в большей степени отличается от состава анализируемой смеси, что приводит к увеличению погрешности измерения. При большей газодиффузационной проводимости фильтра указанная погрешность уменьшается, однако в этом случае возможны существенные температурные перегрузки рабочего элемента термокаталитического датчика.

Указанные выше недостатки ограничивают возможность использования сравнительного элемента термокаталитического датчика в качестве датчика теплопроводности. Поэтому на практике при разработке аппаратуры газового контроля, при переходе с термокаталитического метода контроля на термокондуктометрический, каталитически активный элемент или отключают, или снижают его температуру до величины, при которой прекращается горение на нем метана. Рассмотрим второй вариант работы датчика при высоких концентрациях метана, когда при достижении порогового значения концентраций производится отключение каталитически активного элемента. Объемная доля метана, кислорода и других газов в реакционной камере в момент отключения каталитически активного элемента будет определяться согласно выражениями (1), (13), (18) и (19).

После отключения каталитически активного элемента происходит изменение концентрации газов в камере вплоть до выравнивания газового состава в камере и анализируемой смеси. Скорость изменения объемной доли метана в этом случае будет

$$\frac{dC_{mk}}{dt} = \frac{\gamma_\phi}{V_p} (C_{mc} - C_{mk}), \quad (20)$$

где V_p – объем реакционной камеры, м³.

С учетом начальных условий решение уравнения имеет вид

$$C_{mk} = C_{mc} - (C_{mc} - C_{mk0}) \exp\left(-\frac{\gamma_\phi}{V_p} t\right), \quad (21)$$

где C_{mk0} – объемная доля метана в камере в момент отключения, %.

Из выражения (21) видно, что длительность переходного процесса определяется величиной отношения диффузационной проводимости фильтра к объему реакционной камеры. Так, например, объем реакционной камеры термокаталитических датчиков используемых в серийно выпускаемых анализаторах метана АТ1-1 и АТ3-1 составляет около $V_p = 4 \cdot 10^{-7}$ м³. Экспериментально определенная величина диффузационной проводимости металлокерамического фильтра термокаталитических датчиков для этих анализаторов составляет $\gamma_\phi = 10^{-7}$ м³/с [4]. При таких значениях проводимости и объема постоянная времени составляет $\tau = 4$ с и можно считать, что за время 3τ концентрации метана в реакционной камере и анализируемой смеси практически выравниваются.

С учетом несколько меньшего значения коэффициента диффузии углекислого газа в сравнении с коэффициентом диффузии метана, можно считать, что в рассмотренных датчиках после выключения каталитически активного элемента переходной газодинамический процесс длится около 20 секунд. По истечении этого времени состав газовой смеси в камере и окружающей среде можно считать идентичным.

Отключение или изменение режима работы каталитически активного элемента датчика путем его шунтирования приводит к уменьшению суммарного тепловыделения от чувствительных элементов и, соответственно, к снижению средней температуры газа в камере и температуры сравнительного элемента. Тепло, выделяемое чувствительными элементами термокаталитического датчика P_0 , отводится от реакционной камеры в окружающую среду за счет наличия температурного напора Δt_o путем теплопроводности воздуха и элементов крепления датчика, конвекции, теплопроводности токоподводящих проводников и излучения. Тепловой напор

$$\dots \Delta t_o = t_c - t_o \quad (22)$$

зависит от тепловыделения чувствительных элементов и условий теплообмена.

Основными формами переноса тепла от датчика в окружающую среду является теплопроводность и конвекция [6]. Процесс теплопередачи за счет теплопроводности газовой среды и конвекции обычно упрощают и рассматривают его как кондуктивную теплопередачу. В таком случае можно записать

$$\dots P_0 = \alpha_k F_k \Delta t_o + \alpha_\phi F_\phi \Delta t_o = (\alpha_k F_k + \alpha_\phi F_\phi) \Delta t_o, \quad (23)$$

где α_k, α_ϕ - соответственно, коэффициенты теплопередачи элементов крепления и фильтра, Вт/(м²·°C); F_k, F_ϕ - соответственно, площадь контакта основания датчика с элементами крепления и площадь фильтра, м².

Как видно из выражения (23) тепловой напор в данном случае линейно связан с мощностью, выделяемой в термоэлементах, которая в свою очередь определяется мощностью выделяемой при прохождении электрического тока и мощностью выделяемой на активном элементе вследствие окисления метана. При отключении активного элемента эта мощность, а следовательно и тепловой напор Δt_o , снижаются более чем в два раза.

Тепловой напор в анализаторах метана находится в пределах 10-20 °C. В таком случае при отключении активного элемента величина Δt_k может составлять более 10 °C и на такую же величину может снизиться температура сравнительного элемента. Очевидно, что в данном случае измерения датчиком теплопроводности возможны только после окончания переходного теплового процесса, который в анализаторах метана обычно длится десятки минут.

Исключить переходные тепловые и газодинамических процессы при отключении или шунтировании каталитически активного элемента в термокатализитических датчиках газоанализаторов можно при раздельной подаче анализируемой смеси к чувствительным элементам датчиков, т.е. при размещении чувствительных элементов под отдельными газодиффузионными фильтрами. В предложенных двухкамерных термокатализитических датчиках [11] с целью исключения сбоев в работе анализаторов при высоких концентрациях метана, вызванных окислением на сравнительном элементе горючих газов, газодиффузионное сопротивление фильтра камеры со сравнительным элементом выбиралось на несколько порядков большим, чем сопротивление фильтра камеры с рабочим элементом. В нашем случае при использовании сравнительного элемента термокатализитического датчика в качестве датчика теплопроводности, газодиффузионное сопротивление фильтров камер следует выбирать одинаковым, а для исключения окисления горючих газов на сравнительном элементе и его карбонизации, использовать предложенный нами способ измерения, отличающийся выбором различных тепловых режимов термоэлементов [10].

Обеспечить разные тепловые режимы чувствительных элементов можно различными способами, например, выполнением термоэлементов с разным сопротивлением или разными размерами [12]. Выполненные исследования [12] показали, что при применении терморезисторов с одинаковым начальным сопротивлением, но с разной площадью поверхности и питании измерительного моста от источника стабильного тока, термическая стабильность моста обеспечивается при условии его симметрирования, которое осуществляется включением добавочного сопротивления в ветвь моста со сравнительным элементом.

Температуру разогрева сравнительного элемента термокатализитического датчика, который используется в качестве датчика теплопроводности, следует выбирать в диапазоне 240 - 250°C. Это позволяет исключить окисление на нем высших гомологов метана, водорода и оксида углерода, которые могут присутствовать в рудничном газе, а также предотвратить накопление продуктов термической деструкции углеводородов на его поверхности [9].

При питании измерительного моста с термокаталитическим датчиком от источника стабильного тока и использовании его сравнительного элемента в качестве датчика теплопроводности, объемная доля метана определяется по величине напряжения на данном элементе. В свою очередь при таком режиме питания величина этого напряжения зависит как от теплопроводности смеси, так и от ее температуры [11]. Поэтому в данном случае обязательно наличие в анализаторе датчика температуры и осуществление коррекции результатов измерения исходя из его показаний.

Изложенное выше позволяет сделать вывод, что при создании широкодиапазонных универсальных анализаторов метана следует ориентироваться на использование двухкамерных термокаталитических датчиков с различным температурным режимом чувствительных элементов. Размещение чувствительных элементов под отдельными фильтрами позволяет полностью исключить переходные температурные и газодинамические процессы при переходе анализатора в режим измерения теплопроводности и в то же время при этом обеспечивается идентичность газового состава в камере со сравнительным элементом термокаталитического датчика и в окружающей среде независимо от режимов работы каталитически активного элемента. Кроме того, при существенном ограничении подачи анализируемой среды в реакционную камеру с каталитически активным элементом этот элемент может не отключаться во всем диапазоне возможных концентраций метана.

Список литературы

1. Пат. України 61611A, МК G01N25/22, E21F17/18. Система контролю вмісту горючого газу в шахтній атмосфері / В.В. Білоножко, В.П. Білоножко, В.І. Голінько, А.К. Котляров та ін. // Опубл. 17.11.03. Бюл. №11.
2. Пат. 2475733 Франція, МПК G01 N 27/16 / опубл. "Изобретения в СССР и за рубежом" № 1, 1982.
3. Пат. 79969 Україна, МПК G01N 25/22, E21 F17/18. Аналізатор горючих газів / О.К. Котляров, В.І. Голінько, О.В. Білоножко, В.В. Білоножко – Опубл. 10.08.07. Бюл. №12.
4. Голинько В.И., Котляров А.К., Белоножко В.В. Контроль взрывоопасности горных выработок шахт. – Д.: Наука и образование, 2004. – 207 с.
5. Голинько В.И. Романенко В.И., Фрундін В.Ю. Обоснование мостовой измерительной схемы термокаталитических газоанализаторов // Сб. науч. тр. НГУ. – 2003. – №17, том 2. – С. 352-357.
6. Карпов Е.Ф. Биренберг И.Э., Басовский Б.И. Автоматическая газовая защита и контроль рудничной атмосферы. – М.: Недра, 1984. – 285 с.
7. Котляров А.К., Фрундін В.Е. Теоретическая оценка погрешностей термокондуктометрических анализаторов метана от неизмеряемых компонентов рудничной атмосферы // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 77. – С. 87-93.
8. Голинько В.И., Белоножко А.В. Исследование работоспособности термокаталитических датчиков метана после их длительной эксплуатации // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №10. – С. 72-75.
9. Голинько В.И., Белоножко А.В. Исследование процессов накопления продуктов термической деструкции углеводородов на поверхности термоэлементов // Науковий вісник НГУ. – 2008. – №7. – С. 60-65.
10. Голинько В.И., Котляров А.К., Белоножко А.В. Разработка методов контроля метана, обеспечивающих работоспособность анализаторов при аварийных загазованиях горных выработок шахт // Матер. міжн. конф. "Форум гірників-2008". – Д.: Національний гірничий університет, 2008. – С. 33-43.

11. Голинько В.И., Белоножко А.В. Совершенствование термокаталитического метода контроля содержания метана в рудничной атмосфере // Гірнича електромеханіка та автомата: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 77. – С. 81-87.

12. Голинько В.И. Котляров А.К. Теоретическое обоснование параметров термокондуктометрического датчика метана с неизолированным сравнительным элементом // Сб. науч. тр. / НГУ. – 2006. – №26. – С. 60-67.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бойком В.О.
Надійшла до редакції 20.10.10*

УДК 622.232:519.254

© П.С. Познанский, В.Д. Ирклиевский

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

В статье рассмотрен вопрос построения алгоритма обработки результатов измерения параметров энергетической характеристики двигателя выемочной машины.

В статті розглянуто питання побудови алгоритму обробки результатів вимірювання параметрів енергетичної характеристики двигуна машини для виймки вугілля.

The article addressed the issue of constructing an algorithm of processing the results of measurement of the parameters of energetic characteristics of coal-winning machine's engine.

Вступление.

Современные методики определения производительности угледобывающих комплексов не учитывают возможный перегрев двигателя очистной машины, его опрокид [1], а, следовательно, и длительные простой, связанные с ремонтом и заменой двигателя комбайна, что затрудняет прогнозирование возможной производительности комплекса.

Учет факторов, определяющих в конечном итоге перегрев двигателя комбайна, возможен на базе определения параметров энергетических характеристик с использованием действующей аппаратуры автоматизации [2]. Возможно непрерывное получение экспериментальных данных от аппаратуры. Определение параметров энергетических характеристик по мгновенным значениям мощности и скорости подачи целесообразно для автоматического управления, а данные, прошедшие процедуру усреднения – для прогнозирования эксплуатационных показателей.

Анализ последних достижений и публикаций.

Современное состояние вопроса определения производительности характеризуется работами [3, 4, 5 и др], в которых указана лишь возможность применения для расчета производительности параметров энергетических характеристик, учитывающих тепловой режим работы очистной машины.

Анализ этих работ показал, что в них не указывается метод обработки параметров работы очистной машины для дальнейшего прогнозирования производительности. Актуальность работы заключается в возможности применения разработанного метода для прогнозирования величин параметров энергетиче-

ских характеристик, учет которых может быть использован при расчете максимально возможной по тепловому фактору производительности угледобывающего комплекса в процессе нормальной эксплуатации.

Алгоритмы, полученные в результате выполнения работы, могут быть положены в основу усреднения расчетных значений параметров энергетических характеристик.

Постановка задачи.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующее:

- Определить влияние параметров энергетических характеристик на производительность угледобывающей машины;
- Выбрать метод решения системы уравнений, описывающих зависимость мощности, потребляемой двигателем выемочной машины от ее скорости подачи.

Изложение основного материала.

В соответствии с функциональной схемой возможно непрерывное поступление информации об изменениях контролируемых параметров при нормальной эксплуатации очистного оборудования. Например, полученные в шахте данные о работе комбайна могут быть представлены последовательностью таблицы 1.

Таблица 1

Данные замеров активной мощности и скорости подачи выемочной машины в процессе эксплуатации

P , кВт	P_1	P_2	P_3	...	P_i
V_n , м/мин	V_{n1}	V_{n2}	V_{n3}	...	V_{ni}

Таким образом, данные таблицы 1 отражают непрерывную функциональную связь

$$P = f(V_n) \quad (1)$$

Использование данных таблицы возможно по абсолютным значениям, что целесообразно для автоматического управления или после процедуры усреднения для получения статических характеристик и прогнозирования проектируемых эксплуатационных показателей.

Процедуру формализации зависимости (1) по данным замеров активной мощности и скорости подачи (табл.1) можно свести к определению коэффициентов уравнения (1) как усредненных величин.

Для определения параметров энергетических характеристик по данным замеров активной мощности и скорости подачи в процессе нормальной эксплуатации, которые не поддаются измерению, а могут быть только вычислены, достаточно выполнить фиксацию величины мощности, потребляемой выемочной машиной и ее скорости подачи.

Так, для каждого текущих значений измеренных величин P_i и V_{ni} можно составить систему условных уравнений:

$$\begin{aligned} A + B \cdot V_{n1} &= P_1 \\ A + B \cdot V_{n2} &= P_2 \\ A + B \cdot V_{n3} &= P_3 \\ \dots \\ A + B \cdot V_{ni} &= P_i \end{aligned} \tag{2}$$

вводя обозначения и полагая A и B искомыми величинами уравнение (1) можно преобразовать к виду:

$$\sum_{j=1}^n V_{i+j} \cdot x_j = P_{ij}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

или

$$\sum_{j=1}^n V_{nij} \cdot b_j = P_i, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m,$$

где $b_0 = A$; $V_{ni} = V_{nij}$; $V_{n10} = I$.

Эту систему непосредственно решить нельзя, т.к. правые части уравнений вместо точных значений P_{i0} содержат результаты их измерений $P_i = P_{i0} + \sigma_i$ со случайными ошибками σ_i . Однако, если положить $n > m$, т.е. количество строк (уравнений) больше чем столбцов (в нашем случае столбцов два), то можно найти такую совокупность значений b_0, b_1, \dots, b_m , которая с наибольшей вероятностью удовлетворяла бы исходным зависимостям. В предположении о нормальном распределении случайных величин:

$$f(P_i) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(P_i - P_{i0})^2}{2\sigma^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

для плотности вероятности случайной выборки имеем:

$$f(P_1, P_2, P_n) = \left(\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi} \right)^{-n} \cdot \exp \left[-\frac{I}{2 \cdot \sigma^2} \cdot \sum_{i=1}^n \left(P_i - \sum_{j=0}^m V_{ji} \cdot b_j \right)^2 \right] \quad (5)$$

Эта вероятность достигает максимума при минимуме функции стоящей в показателе экспоненты, т.е. при таких значениях b_0, b_1, \dots, b_m (что соответствует параметрам A и B), которые обращают в нуль все частные производные:

$$\frac{\partial}{\partial b_k} \left[\sum_{i=1}^n \left(P_i - \sum_{j=0}^m V_{ij} \cdot b_j \right)^2 \right] = -2 \cdot \sum_{i=1}^n \left(P_i - \sum_{j=0}^m V_{ij} \cdot b_j \right) \cdot V_{ik} = 0, \quad (6)$$

$k = 1, 2, \dots, m$

Отсюда для определения значений b_0, b_1, \dots, b_m получаем нормальную систему уравнений:

$$\sum_{j=0}^m C_{kj} \cdot b_j = \sum_{i=1}^n V_{ik} \cdot P_i \quad (7)$$

где $C_{kj} = C_{jk} = \sum_{i=1}^n V_{ik} \cdot V_{ij}$, $k = 1, 2, \dots, m$ (8)

Условие максимального правдоподобия совпадает с требованием минимума суммы квадрата ошибок:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (P_i - P_0)^2 = \sum_{i=1}^n \left(P_i - \sum_{j=0}^m V_{ij} \cdot b_j \right)^2 = \sum_{i=1}^n P_i^2 - \sum_{j=0}^m x_j \cdot \sum_{i=1}^n V_{ij} \cdot P_j \quad (9)$$

На основании теоремы Гаусса-Маркова можно считать, что это условие при определении усредненных значений параметров энергетических характеристик дает минимальные погрешности независимо от типа распределения, хотя и при обосновании вводилось предположение о нормальном распределении.

Переходя от обозначений, введенных в уравнении (3) к решению уравнения (7) можно определить по совокупности измеренных случайных значений P_i и V_{nj} (например, за один цикл выемки угля) параметры A и B .

Для того, чтобы перейти от системы условных уравнений, необходимо определить четыре коэффициента C_{11} , C_{12} , C_{21} и C_{22} левой части условных уравнений по совокупности всех измеренных значений P_i и V_{nj} .

Совокупность всех измеренных значений представима матрицей вида:

$$a = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ \dots & & & & \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & \dots & a_{ij} \end{vmatrix} \quad (10)$$

В данном случае, переходя от $a_{i1} = 1$, при всех значениях искомого коэффициента A (параметра энергетической характеристики) и $a_{i2} = V_{ni}$, можно получить матрицу (матрицу экспериментальных данных):

$$V_n = \begin{vmatrix} 1 & V_{n1} \\ 1 & V_{n2} \\ \dots & \\ 1 & V_{ni} \end{vmatrix} \quad (11)$$

Для получения квадратной матрицы коэффициентов C необходимо прямуюгольную матрицу a умножить на ее транспонированную матрицу a^T , т.е. такую, в которой все строки, содержащиеся в матрице a , заменены столбцами:

$$a^T = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{i1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{i2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1j} & a_{2j} & \dots & a_{ij} \end{vmatrix} \quad (12)$$

Для измеренных величин в нашем случае:

$$V_n^T = \begin{vmatrix} I & I & \dots & I \\ V_{n1} & V_{n2} & \dots & V_{ni} \end{vmatrix} \quad (13)$$

Тогда матрица для определения коэффициентов C будет иметь вид:

$$\begin{aligned} C &= \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{vmatrix} = a^T \cdot a = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \\ C &= \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n a_{i1} & \sum_{i=1}^n a_{i2} \cdot a_{ij} \\ \sum_{i=1}^n a_{i1} \cdot a_{2j} & \sum_{j=1}^n a_{i2} \cdot a_{2j} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n a_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n a_{i2} \cdot a_{i2} \\ \sum_{i=1}^n a_{i1} \cdot a_{ii} & \sum_{i=1}^n a_{i2}^2 \end{vmatrix} \end{aligned} \quad (14)$$

$$C_{11} = \sum_{i=1}^n V_{i1}^2 = I^2 + I^2 + \dots + I^2 = n \quad (15)$$

где C_{11} - коэффициент первой строки и первого столбца нормальной системы уравнений;

a_{ii} - коэффициент i -строки первого столбца (коэффициент при параметре A) условной системы уравнений.

На основании уравнения (8) можно определить коэффициенты, соответственно первой строки второго столбца и второй строки первого столбца нормальной системы уравнений:

$$C_{12} = C_{21} = \sum_{i=1}^n V_{i1} \cdot V_{i2} \quad (16)$$

Заменяя, в соответствии с уравнением (3), V_{i2} на V_{ni} , получим:

$$C_{12} = C_{21} = \sum_{i=1}^n V_{ni2} \quad (17)$$

Коэффициент второй строки и столбца нормальной системы уравнений определим по формуле:

$$C_{22} = \sum_{i=1}^n V_{i2}^2 = \sum_{i=1}^n V_{ni2}^2 \quad (18)$$

где $a_{i2} = V_{ni}$ - коэффициент i -строки второго столбца условной системы уравнений.

Правые части нормальной системы уравнений определяем по формуле (7):

$$\sum_{i=1}^n V_{il} \cdot P_i = \sum_{i=1}^n P_i \text{ т.к } a_{il} = 1 \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n V_{i2} \cdot P_i = \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i \text{ т.к } a_{i2} = V_{ni} \quad (20)$$

По найденным значениям (14) – (20) коэффициентов и на основании (3) и (8) можно составить нормальную систему уравнений:

$$\begin{cases} C_{11} \cdot A + C_{12} \cdot B = \sum_{i=1}^n P_i \\ C_{21} \cdot A + C_{22} \cdot B = \sum_{i=1}^n P_i \cdot V_{ni} \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} A_n + B \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} = \sum_{i=1}^n P_i \\ A \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} + B \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 = \sum_{i=1}^n P_i \cdot V_{ni} \end{cases}$$

Решая систему уравнений (21), определяем искомые средние значения параметров энергетических характеристик для совокупности измеренных в процессе работы выемочного комплекса величин активной мощности и скорости подачи комбайна.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - B \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n} \quad (22)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - A \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{\sum_{i=1}^n V_{ni}^2} \quad (23)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - \frac{\sum_{i=1}^n P_i - B \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{\sum_{i=1}^n V_{ni}^2} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} + B \cdot \left(\sum_{i=1}^n V_{ni} \right)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2}$$

$$B = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \left(\sum_{i=1}^n V_{ni} \right)^2} \quad (24)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \left(\sum_{i=1}^n V_{ni} \right)^2} \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n},$$

$$A = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \left(\sum_{i=1}^n V_{ni} \right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} + \sum_{i=1}^n V_{ni} + \sum_{i=1}^n P_i \cdot \left(\sum_{i=1}^n V_{ni} \right)^2}{n^2 \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n V_{ni} \right)^2}$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \left(\sum_{i=1}^n V_{ni} \right)^2} \quad (25)$$

Заключение.

Алгоритмы (24) и (25) могут быть положены в основу усреднения расчетных значений параметров энергетических характеристик и обладают следующими достоинствами:

1. Исключены случаи отрицательного знаменателя и знаменателя равного нулю, т.к $n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \gg \left(\sum_{i=1}^n V_{ni} \right)^2$. Иными словами исключена некорректная оценка параметров энергетических характеристик и отброшены результаты нехарактерных для эксплуатации значений контролируемых величин.
2. С увеличением массива данных измерений (т.е. с ростом ряда от $i = 1$ до n) качество прогноза возрастает.

Список литературы

1. Нормативы нагрузки на очистные забои и скорости проведения подготовительных выработок на шахтах. – Донецк: ДонУГИ. – 2007, 39с.
2. П.С. Познанский, В.Д. Ирклиевский. Автоматизация процесса управления производительностью угледобывающего комплекса // Збірник наукових праць національного гірничого університету №33, Том2 – Днепропетровск: РВК НГУ, 2009. – с 41-48.
3. Горные машины для подземной добычи угля: учеб.пособие для студ. вузов/ П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко [и др.]; под ред. П.А. Горбатова. – Донецк: Норд-Компьютер, 2006. – 672 с.
4. Нечепуренко М.С. Методические указания к курсовому проекту по курсу "горные машины и комплексы" для студентов специальности 17.01/ М.С. Нечепуренко; каф. Гірничої енергомеханіки та обладнання. - Коммунарск: КГМИ, 1992. - 34с.
5. Ирклиевский В.Д., Кобец В.М. Алгоритмы и комплектная аппаратура для повышения производительности, надежности и контроля забойного оборудования // Международная межвузовская научно-практическая конференция «Надежность и качество горных машин и оборудования». – М: МГИ, 1991. - с. 7-11.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слєсаревим В.В.
Надійшла до редакції 15.11.10*

УДК 550.461.004.86

© М.А. Трофименко, З.С. Березницкий, А.И. Даценко

ОСВОЕНИЕ ИОНООБМЕННОЙ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ПО УТИЛИЗАЦИИ «СОКОВОГО ПАРА»

Введение ионитной технологии очистки сточных вод в производстве минеральных удобрений тормозится из-за образования больших объемов вторичных стоков – разбавленных регенерационных растворов. В статье приведены результаты опытно-промышленной проверки способа „порционной” регенерации ионитов, позволяющей сократить объем сточных вод и вернуть их в производство.

Впровадження іонітної технології очистки стічних вод у виробництві мінеральних добрив призводить до появи вторинних стоків – регенераційних розчинів у великих об’ємах. В статті приведено результати промислових випробувань дослідної установки з впровадженням «порційної» регенерації іонітів, що дозволяє значно скратити об’єм вторинних стічних вод і повернути їх у виробництво.

The implementation of ionic technology of purification of drainage water in mineral fertilizer production is made slow because of large amount formation of secondary drainage, i.e. diluted regenerative solutions. The results of experimental and industrial testing of “portional” ionic regenerative methods which permit to reduce the amount of drainage water and return it into the industry have been given in this article.

Введение. Одним из узких мест в технологии получения аммиачной селитры является утилизация “сокового пара”. С целью создания безотходной технологии используется улавливание конденсата на ионообменных материалах [1]. Однако, улавливание нитрат-ионов на анионообменных смолах не всегда происходит в полной мере, концентрация нитрата аммония образующегося при регенерации анионита раствором аммиака не превышает 5%, это затрудня-

ет его утилизацию [2]. Расход промывной воды после регенерации анионитовых фильтров достигает 30% от общего количества очищаемого конденсата.

Постановка задачи. Целью настоящей работы являлось:

- 1) выбор анионита, обеспечивающего высокую ёмкость по нитрат-аниону;
- 2) обеспечение стабильности работы установки по улавливанию из конденсата сокового пара ионов аммония и нитрат-ионов;
- 3) поиск режима регенерации, обеспечивающего минимум расхода регенерата – аммиачной воды и промывных вод.

Результаты исследований. Испытание по подбору анионита были осуществлены в лабораторных условиях. Испытаны аниониты марок «АН-31», «АН-22-8» и «Воффатит». Высокоосновный анионит плохо зарекомендовал себя при отработке режима на опытно-промышленной установке по очистке конденсата сокового пара в производстве аммиачной селитры – требовался большой объём промывных вод (до 30 % от объёма очищаемого конденсата) и концентрация нитрата аммония в регенерате составляла всего 4%. Поэтому анионит (АВ-17) не испытывался в данной технологии.

По полученным результатам лабораторных испытаний названных трёх марок ионитов для опытно-промышленных испытаний выбрали низкоосновный анионит АН-22-8. Динамическая обменная ёмкость этого анионита равна 800 г-экв/м³. При переходе из OH⁻ формы в NO₃⁻ АН-22-8 незначительно изменяет свой объём, механическая прочность его более высокая, чем у анионита АН-31.

Обследование работы Н-катионитовых колонн, поглощающих аммиак и ионы аммония показали, что пропуск ионов аммония в очищенный конденсат достигает 300 мг/л. Вслед за ионами аммония наблюдали пропуск и нитрат-иона в очищаемую воду.

Лабораторные исследования подтвердили эту зависимость показанную на рис. 1.



Рис. 1. Изменение степени очистки конденсата от нитрат-иона анионитом АН-22-8 в зависимости от содержания в растворе ионов аммония

На основании проведённых исследований был сделан вывод о недопустимости проскока ионов аммония на катионовых фильтрах выше 60 мг/л, проскок по нитрат-ионам не должен превышать 200 мг/л. При этом достигается условие очистки воды от конденсата до норм подачи её на биологические очистные сооружения.

После выполнения мероприятий по стабилизации процесса Н-катионирования была достигнута требуемая степень очистки.

Проводились исследования по сокращению объёмов регенерационных растворов анионитовых фильтров и промывных вод. Для этого применяли метод порционной регенерации анионита раствором аммиачной воды, заключающийся в том, что регенерацию анионита осуществляли порциями раствора, собираемыми в отдельные ёмкости. На утилизацию выводили лишь самую концентрированную порцию, а остальные использовались для регенерации повторно. Свежий регенерационный раствор подавали на анионитовые фильтры лишь последней порцией [3].

Применить метод порционной регенерации нам удалось, сняв выходные кривые регенерации и отмычки, изображённые на рис. 2 и 3.

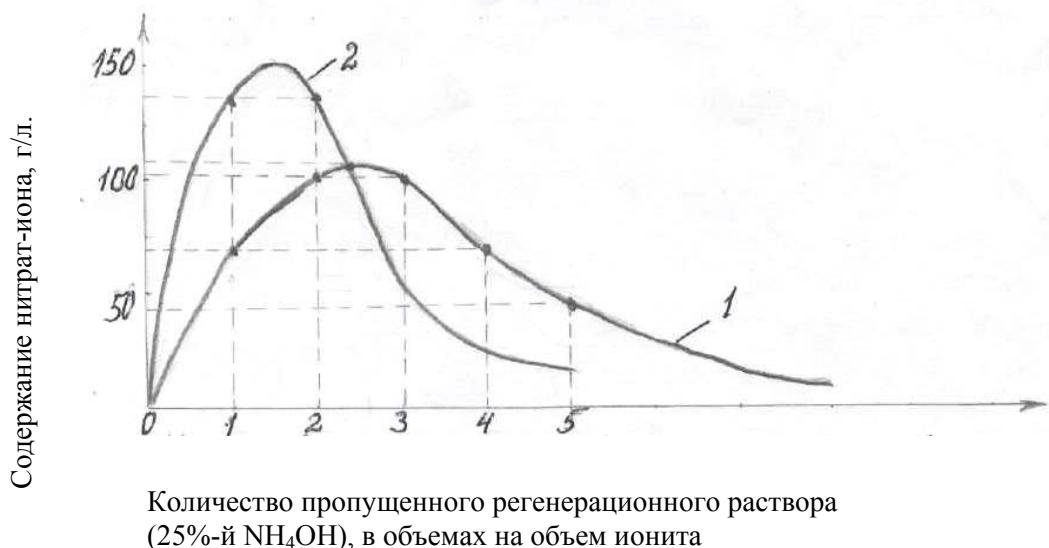
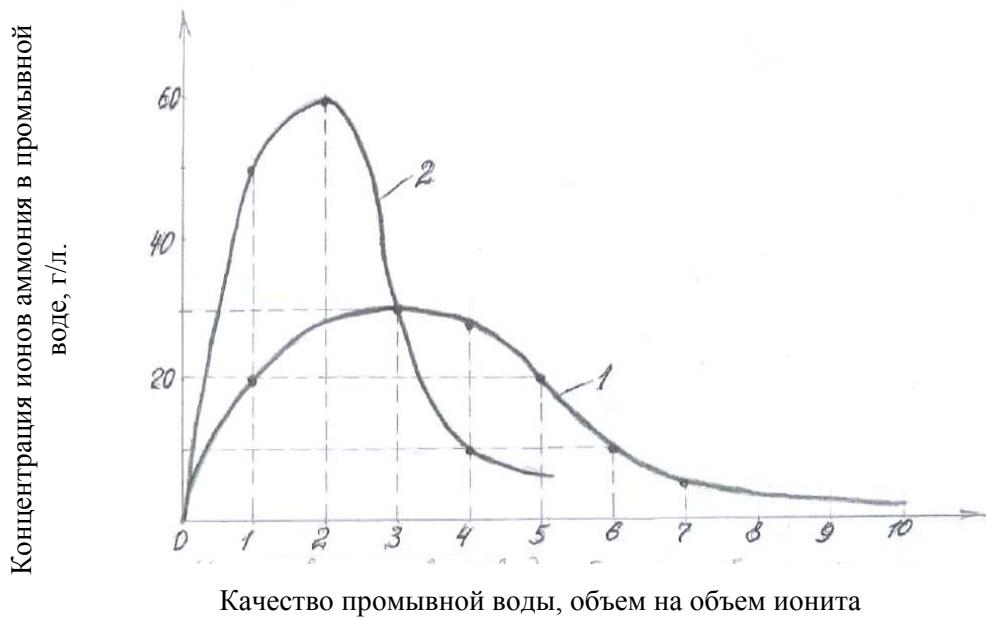


Рис. 2. Выходные кривые регенерации анионита 15%-ной аммиачной водой

Способ порционной регенерации и отмычки в промышленных ионитовых фильтрах при их стандартной загрузке – диаметр 2,5-3,0 м, высота слоя 1,5-1,6 м, используется довольно редко. Для предотвращения «загрязнения» подаваемого регенерата предыдущей порцией остающейся в фильтре, применили вытеснение растворов из фильтров сжатым воздухом, объём каждой порции при регенерации был равен объёму смолы в фильтре – 7,5 м³. Перед началом регенерации из фильтров вытесняли оставшийся конденсат и направили его в ёмкость сбора конденсата для повторной очистки. Регенерацию осуществляли тремя порциями раствора. Затем отмычку анионита от регенерационного раствора выполняли тоже тремя порциями воды, равными объёму загрузки ионита - 7,5 м³.



1 – непрерывный режим регенерации; 2 – порционный режим регенерации
Рис. 3. Выходные кривые отмывки ионита от регенерации

Первые две порции отработанного регенерационного раствора с содержанием аммиачной селитры 100 – 120 г/л откачивали в цех аммиачной селитры на упаривание. Третью порцию отработанного регенерата и первую порцию промывной воды собирали в ёмкости, доукрепляли 25%-ной NH_4OH до 10%-ной концентрации для использования в последующем цикле регенерации. Таким образом после предыдущей регенерации оставались для повторного использования две порции регенерата. Третьей последней порцией регенерата был свежий 10%-ный раствор аммиачной селитры.

Вторую порцию промывной воды оставляли для повторного использования в качестве первой промывной порции последующего цикла отмывки. А третью порцию промывной воды откачивали в сборник конденсата, подаваемого на очистку в последующем фильтроцикле. Для окончательной отмывки анионового фильтра использовали первую порцию свежей воды.

В результате применения вышеописанного порционного режима регенерации и отмывки анионовых фильтров удалось достичь следующих показателей: объём очищенного конденсата сокового пара за один цикл составил 500 - 600 m^3 в зависимости от содержания NO_3^- в исходном конденсате (3 – 4 г/л).

Объём регенерата направляемого на доукрепления после одного цикла составляет 30 m^3 против 100 m^3 при обычном способе регенерации. Объём отмывной воды, направленный для повторной очистки на катионовые фильтры - 30 m^3 против 200 m^3 при обычном способе регенерации.

При такой регенерации опытно-промышленная установка проработала в непрерывном режиме работы более двух месяцев, удалось замкнуть в цикл конденсат сокового пара, предотвратив его сброс в сточные воды.

Выводы. Исследованием установлено, что метод порционной регенерации анионита, работающего на утилизации «сокового пара» в производстве аммиачной селитры высокоэффективен, как с экономической так и экологической точки зрения.

Список литературы

1. Когановский А. М., Семенюк В. Д. Оборотное водоснабжение промышленных предприятий. – К: Будівельник, 1975 – 190 с.
2. Рода И. И., Семенюк В. Д. Освоение установки ионообменной корректировке солевого состава сточной воды. – Химия и технология воды, 1980, №1 – С12 – 14.
3. А. С. 1627245 (СССР). Способ регенерации катионитовых фильтров в установке для обессоливания и умягчения воды. / Трофименко М. А., Ребрик В. А. – опубл. в Б.И. 1992.- №7.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.
Надійшла до редакції 21.10.10*

УДК 628.17

© А.Н. Назаренко

К ВОПРОСУ О ПРОГНОЗИРОВАНИИ ТОЛЩИНЫ ОТЛОЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОММУНИКАЦИЯХ

В статье поднимаются вопросы кондиционирования циркуляционной и оборотной воды промышленных предприятий и коммунального хозяйства. Классические теории борьбы с отложениями дополняются новыми предложениями. Представленные наработки позволяют сделать вывод, что эти уточнения довольно значительны и позволяют делать рекомендации по сохранению имеющихся энергетических коммуникаций долгое время в рабочем состоянии.

У статті піднімаються питання кондиціонування циркуляційної і зворотному води промислових підприємств і комунального господарства. Класичні теорії боротьби з відкладеннями доповнюються новими пропозиціями. Представлені напрацювання дозволяють зробити висновок, що ці уточнення досить значні і дозволяють робити рекомендації щодо збереження наявних енергетичних комунікацій довгий час в робочому стані.

The questions of conditioning of circulation and circulating water of industrial enterprises and economy rise in the article. The classic theories of fight against laydown are complemented new suggestions. The presented works allow to draw a conclusion, that these clarifications enough considerable and allow to do recommendation on the maintenances of present power communications long time on-condition.

Введение. Как известно, основная проблема эксплуатационников относительно недолгая жизнь производственных коммуникаций. Всем давно понятно, что лучше создать условия для поддержания водно-химического режима коммуникаций на предприятиях, чем потом промывать их специальными растворами под давлением или же срезать участки поврежденных коррозией труб. Особенно эта проблема актуальна для Донецкого и других регионов, где жесткость общая давно приблизилась к верхнему пределу нормы, а иногда и превышает. В воде с повышенной жесткостью, ассоциаты малорастворимых солей (CaCO_3 , MgOH_2 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ MgHCO_3) создают потенциальную угрозу для теп-

лопередающей и транспортирующей поверхности коммуникаций. По статистике карбонатные и сульфатные отложения толщиной 1 мм, снижают поверхность тепломассообмена на 10%, и создают основу для повышения расхода топлива или электроэнергии на 10%. Этот вопрос уже актуален для теплосиловиков, т.к. в период энергетического кризиса, в периоды действия лимитов, перерасход энергии чреват.

Постановка задачи. Вопросы поддержания водно-химического режима предприятия и кондиционирования воды поднимался неоднократно в 60-90-е годы прошлого века. Увеличение продувки, обработка фосфатами, рекарбонизация – классические методы борьбы с уже присутствующими в трубопроводах обрастаниями применяются на предприятиях и тратятся довольно большие годовые бюджеты.

Предприятиям, энергетикам необходим альтернативный вариант решения этого вопроса - прогноз возможности зарастания существующего трубопровода с учетом качества проходимой по нему воды. Над подобным вопросом работает группа Запорожских ученых, собравшая аналитическую подборку данных по химическому составу Днепровской воды за более чем 25 летний период, сравнительную подборку методик по расчету отложений О.И.Мартыновой, Л.Г.Васиной, О.А.Алекина, Р.М.Гаррелс, М.Е.Томпсона, И.Э.Апельцина, В.А.Клячко, Д.И.Кучеренко и др, и тестирующая имеющиеся наработки на Запорожских предприятиях.

Кажущееся пересыщение морских вод по карбонату кальция при таком расчете заметно снижается и составляет значение порядка 3 раз. При этом, основными компонентами морских вод принимаются CaSO_4^0 , MgSO_4^0 , NaSO_4^- , KSO_4^- , CaCO_3^0 , MgCO_3^0 , NaCO_3^- , CaHCO_3^+ , MgHCO_3^+ , NaHCO_3^0 , CaOH^+ , MgOH^+ , NaOH^0 , Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} и Cl^- . Данными авторами считалось, что хлорид-ионы не обладают способностью образовывать ассоциаты с катионами, а ионы калия с анионами HCO_3^- и CO_3^{2-} . Это допущение принято и Мартыновой, Васиной [5] при расчете пересыщений по карбонату кальция вод Черного и Каспийского морей и мирового океана. При этом, они уточнили значения констант диссоциации ассоциатов NaSO_4^- , CaSO_4^0 , CaCO_3^0 , а также произведение растворимости CaCO_3 и CaSO_4 . Константа диссоциации NaHCO_3^0 и NaCO_3^- позаимствовано ими у Накаямы [6]. Результат по мировому океану у данных исследователей получился без пересыщений; по воде Каспийского моря - в 1,5 раза; Черного - в 2,4 раза. Дальнейшие работы ученых в этом направлении касались определения и уточнения значений констант диссоциации ассоциатов, ионных пар, коэффициентов активности [7-9].

Результаты работы. Использовав вышеуказанные наработки ученых для определения степени пересыщения по карбонату и сульфату кальция, а также гидроокиси магния высокоминерализованных оборотных вод газоочисток доменных печей и аглофабрики, а также оборотных вод охладительного оборотного цикла ТЭЦ-ПВС комбината “Запорожсталь” возможность рассчитать водно-химический баланс, режим работы системы и рекомендовать технические предложения в зависимости от сезонов года и при повышении коэффициента концентрирования солей от 1,2 до 2,8.

На рисунке 1 представлена графическая интерпретация результатов расчетов и определений пересыщений по малорастворимым соединениям и ионной силе раствора в пределах факторного описания сезонных колебаний температуры воздуха и жесткости подпиточных вод.

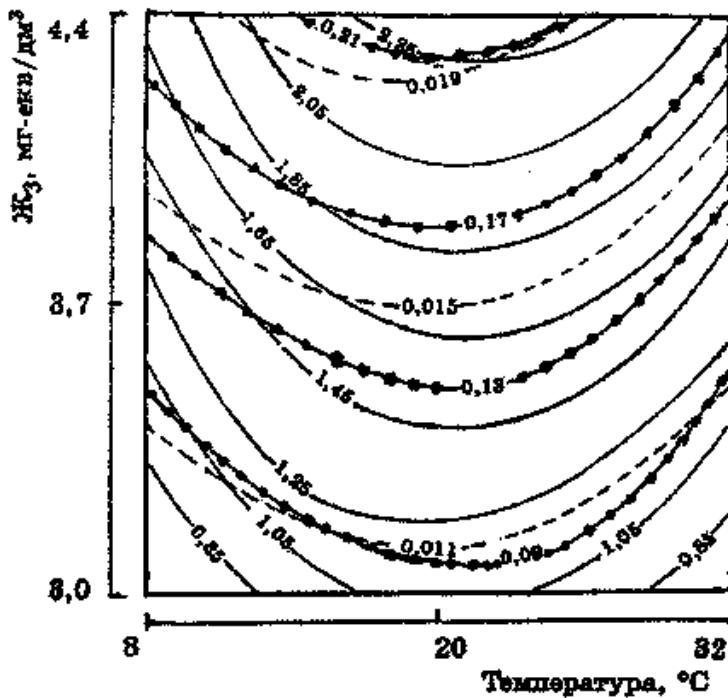


Рис.1. Графическая интерпретация результатов расчетов ионной силы раствора и пересыщений оборотной воды по карбонату и сульфату кальция в зависимости от сезона года:

— пересыщения по карбонату кальция, раз;
- *-*-* - пересыщения по сульфату кальция, раз;
- - - - иона сила раствора, г-ион/дм³.

Из факторного описания пересыщений оборотной воды по карбонату и сульфату кальция наглядно видно, что по сульфату кальция пересыщений не будет. Это позволит, в случае необходимости, для стабилизации оборотных вод использовать реагентный метод подкисления или кислотно-фосфатную обработку с применением серной кислоты без опасения получить гипсовые отложения на стенках трубопроводов. По карбонату кальция пересыщений оборотной воды, в данном случае, нет или они незначительны, что тоже вызывает уверенность в работоспособности оборотной системы водоснабжения для целей охлаждения.

По рис.2 и разработанной таблице можно определить необходимое количество воды на подпитку оборотной системы водоснабжения в зависимости от исследуемых факторов.

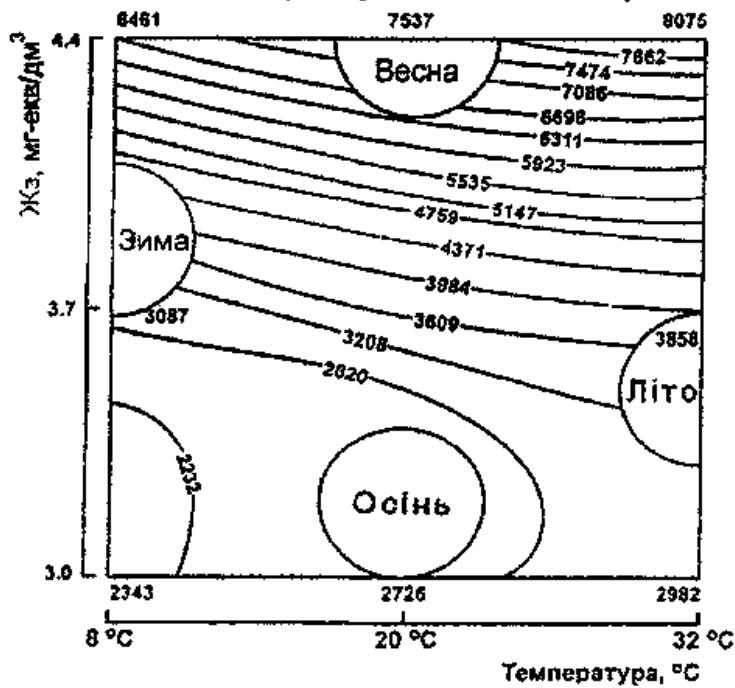


Рис. 2. Линии изозначений количества подпиточной воды в зависимости от температуры окружающей среды и колебания ее жесткости

К этим наработкам относятся и посчитанные по обновленной методике нормы водопотребления и водоотведения Комбината «Запорожсталь» с учетом качества потребляемой воды. Особенности этой методики заключаются в прогнозировании возможности выпадения в осадок бикарбонатного аниона в системе, исходя из качества циркулируемой воды, а также в обеспечении необходимых скоростей течения теплоносителя. Подобный расчет водопотребления позволяет не только проанализировать текущую ситуацию водного хозяйства на предприятии, внести корректировки в существующую схему водоснабжения, но и снизить забор свежей технической воды. Так подобная оптимизация водного хозяйства позволяет снизить количество водопотребления только по Комбинату «Запорожсталь» на 12 % (около 25 млн м³).

Список литературы

1. Возная Н.Ф. Химия воды и микробиология.- М.: Высшая школа, 1979.-С.41-43.
2. Алекин О.А., Моричева Н.П. К вопросу о стабильности карбонатной системы в природных водах//Доклады АН СССР-1957. Том 117, №6. С.1030-1033.
3. Алекин О.А. Химия океана.-Л.:Гидрометеоиздат.-1966.-231с.
4. Мартынова О.И., Васина Л.Г., Позднякова С.А. Водный режим и процессы в парогенераторах электростанций//Труды МЭИ..-1971. Вып.83.-С.48-54.
5. Мартынова О.И., Васина Л.Г., Позднякова С.А., Колбасова Э.С. Методика расчета состава соленых вод.// Труды МЭИ. Водоподготовка и водный режим. 1972. Вып.128.-С.121-129.
6. Nakayama F.S. Sodium bicarbonate and carbonate ion pairs and their relation to the estimation of the first and second dissociation constants of carbonic acid. J.Phys.Chem., -1970.- Vol.74, 13.- Р.2726-2728.
7. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.А. Растворы, минералы, равновесия. - М.: Мир.-1968.-368с.
8. Jeatts L.B., Marshall W.L. Apparent invariance of activity coefficients of CaSO₄ at constant ionic strength and temperature in the system CaSO₄ - Na₂SO₄ - NaNO₃ - H₂O to the critical temperature. J.Phys.Chem., 1969, vol.73, -№1, -р. 81-90.

9. Васина Л.Г., Говерт А.А., Богловский А.В. Константы диссоциации ионных пар для расчета процессов водоподготовки.//Труды ВодГЕО. Очистка природных вод в системах водного хозяйства промпредприятий.-1980.- Ж2/4459.-С.51-55.

10. Крючков Е.Н., Назаренко Н.П., Назаренко А.Н., Кухарский М.В. Определение степени насыщения оборотных вод карбонатом и сульфатом кальция. - //Химия и технология воды, Том 22, 2000.-№4 - С. 395-403.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О. В.
Надійшла до редакції 15.10.10*

УДК 628.83

© С.И. Чеберячко, Н.Н.Наумов

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОПЫЛЕВЫХ РЕСПИРАТОРОВ И ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

В статті виконано аналіз, існуючих методів оцінки ефективності респіраторів та фільтруючих матеріалів.

В статье произведен анализ, существующих методов оценки респираторов и фильтрующих материалов.

The methods of efficiency determination of respirators and filtering materials have been analyzed in this article.

Все средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), согласно действующих нормативно-правовых актов, подлежат обязательной сертификации, чтобы гарантировать определенные рабочие характеристики противопылевых респираторов и, в первую очередь, в отношении эффективности очистки вдыхаемого воздуха. Существует много методов определения защитных свойств фильтрующих элементов, но в основных чертах они аналогичны и основываются на использовании тест-аэрозолей. Сущность сводится к измерению концентрации тест-аэрозоля до испытуемого СИЗОД и после. По результатам этих измерений рассчитывают коэффициент проникания K , выражющий долю дисперсных частиц, проникших через испытуемое изделие; коэффициент защиты K_3 , выражющий кратность снижения концентрации вредного вещества и коэффициент защитной эффективности \mathcal{E} , выражющий долю аэрозольных частиц, не проникших через объект испытания [1]. Структурная схема установки для испытаний по тест-аэрозолю приведена на рис. 1.

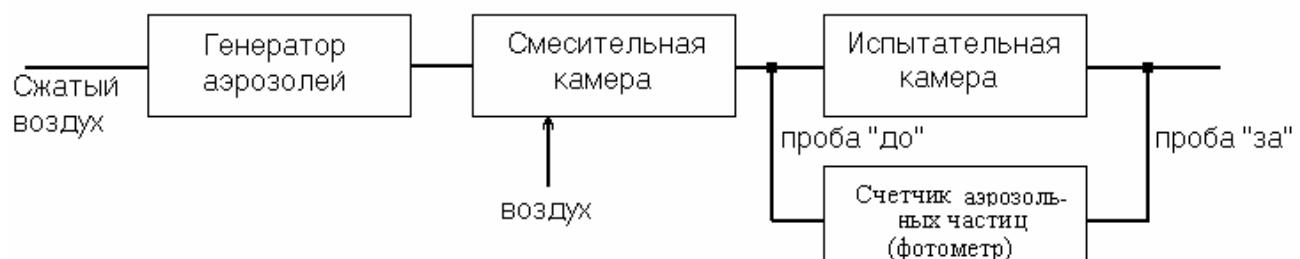


Рис. 1. Структурная схема установки для испытаний по тест-аэрозолям

Сжатый воздух подается на генератор аэрозоля, далее полученный тест-аэрозоль поступает в смесительную камеру, в которой происходит разбавление исходной концентрации чистым воздухом. После разбавления аэрозоль поступает в испытательную камеру (зажим), в которую размещают испытуемое изделие. С помощью счетчика аэрозольных частиц или фотометра измеряют концентрацию аэрозоля до и после испытательной камеры. По результатам измерений определяют показатели эффективности фильтрации.

На сегодняшний день самое широкое распространение получили методы испытаний СИЗОД, основанные на использовании следующих аэрозолей: масляного, хлорида натрия, метиленового голубого, диоктилфталата, уранилового и пылевого.

Рассмотрим кратко характеристики каждого из них.

Так, в Украине, России, Казахстане базовым является метод с применением жидкого монодисперсного тест-аэрозоля масляного тумана со средним диаметром частиц 0,28...0,34 мкм. Генератор масляного тумана создает концентрацию аэрозоля в пределах 120...250 г/м³. Относительную концентрацию определяют с помощью фотометра (нефелометра), в который поступает проба «до» с исходной концентрацией аэrozоля и проба «за» - после испытательной камеры.

В США для контроля эффективности защитных свойств СИЗОД применяют DOP-тест, регламентированный американским стандартом “MIL SID-282”, в котором предусматривается применение монодисперсного аэрозоля диоктилфталата со средним диаметром частиц 0,3 мкм при концентрации 90...100 мг/м³. Аэрозоль образуется путем испарения и конденсации паров DOP (диоктилфталата), который и поступает в испытательную камеру. Пробы аэrozоля отбирают до и после фильтра, а эффективность определяют по результатам измерений его концентраций с помощью фотоэлектронных устройств.

В последнее время появился новый метод контроля СИЗОД, разработанный в США – лазерный тест. Пары диоктилфталата, в отличие от DOP-теста, в лазерном teste получают при пониженном давлении в распылителе Раскина, который позволяет воспроизводить полидисперсное распределение частиц со средним размером 0,2 мкм. Проскок измеряется лазерным спектрометром, подробно описанным И. Хаяковой [2].

В Англии применяется методика с использованием тест-аэrozоля метиленового голубого. Испытания проводят путем распыления 1%-ного раствора красителя метиленового голубого в дистиллированной воде. При испарении капелек образуется сухой аэrozоль из частиц метиленового голубого, размеры которых колеблются в пределах от 0,01 до 1,5 мкм, медианный весовой размер частиц составляет 0,6 мкм. Полученный аэrozоль последовательно просасывается через испытуемый фильтр и полоску бумаги эспарто, вставленную в специальный держатель. Окрашенное пятно, образованное на бумаге, сравнивают с набором эталонных пятен, соответствующих известным концентрациям нефильтрованного аэrozоля.

В Англии разработан и применяется еще один метод оценки защитных свойств с использованием тест-аэrozоля натрий хлор. Аэrozоль представляет

собой капельки жидкости, полученные распылением 2%-ного раствора поваренной соли в дистиллированной воде, при этом после испарения воды образуется сухой аэрозоль из твердых частиц кубической формы размером от 0,01 до 1,6 мкм с медианным весовым размером 0,6...0,8 мкм. Тест-аэрозоль анализируется до и после прохождения через фильтрующий элемент фотометром (счетчиком аэрозольных частиц).

Фильтрующие материалы можно так же испытывать по пылевым тест-аэрозолям [3]. В Украине при реализации такого метода применяется микротшлифпорошок М-5П, в котором фракция частиц размером до 5 мкм составляет 75 % [4].

Для сравнения целесообразно использовать следующие показатели: размер частиц аэрозоля; дисперсный состав; способ регистрации или измерения концентрации. В табл. 1 представлены основные характеристики методов контроля. Исследованиями [5] установлено, что существует интервал размеров частиц (в пределах 0,1...0,3 мкм), которые являются наиболее проникающими при скоростях фильтрации близких к скоростям создаваемым человеком при дыхании.

Возникает задача в определении теста, с помощью которого можно быстро и качественно определить эффективность СИЗОД. Для решения этой задачи было проведено серию испытаний по определению коэффициента проникания с использованием различных тест-аэрозолей на специально отобранных образцах респираторов. С этой целью была изготовлена партия респираторов Лепесток из фильтрующего материала «элефлен» (ТОВ НВП «Стандарт»), которая характеризовалась однотипностью структуры и плотности упаковки волокон для обеспечения точности полученных результатов.

Таблица 1
Основные методы функционального контроля воздушных фильтров

Метод контроля	Метод образования частиц пыли и их характеристика			Устройство регистрации частиц	Соотв. стандарт
	Вещество для образования аэрозоля	Распределение по размерам	Размер частиц, мкм		
1	2	3	4	5	6
Масляный туман (МТ)	масло турбинное (МТ)	монодисперсное	0,3	фотометр	Межгосударственный ГОСТ 12.4.156-75
DOP-тест	диоктилфталат	монодисперсное	0,3	фотометр	Respiratory Protective Devices 42 CFR Part 84
Испытание хлоридом натрия	хлорид натрия (NaCl)	полидисперсное	0,6 (0,01...1,5)	Полуменевий фотометр	EN 143-2008 EN 149-2008 EN 140-2008
Испытание метиленовым голубым	метилен голубой	полидисперсное	0,01... 1,5	колориметр (визуальный)	Английский BS 2831

Продолжение табл.1

1	2	3	4	5	6
Ураниловый тест	ураниловый люминофор	полидисперсное	0,3	флуорометр	Французский
ASHRAE-тест 1. Весовой метод	уличная пыль 72% (Аризона) сажа 23% хлопковый пух 5%	полидисперсное	0...80 0,08 0,15 мм	измерение массы	Американский ASH-RAE
	атмосферная пыль		03...04		
Определение проскока пыли	Шлифпорошок М-5П	полидисперсное	Менее 5 мкм (75%)	фотометр	МИ 6-16-2508-81
	Доломит DRB 4/15	полидисперсное	0-20 мкм (50% до 5 мкм)	весовой	ДСТУ EN 143:2002
Испытание парафиновым маслом	Парафиновое масло (ПМ)	полидисперсное	0,4 (0,01 – 1)	Интегральный фотометр	EN 143-2008 EN 149-2008 EN 140-2008

Методики испытаний по масляному туману описаны в ГОСТ 12.4.156-75; по парафиновому маслу и натрий хлор в ДСТУ EN 149:2003; по пылевому аэрозолю ДСТУ EN 143:2002; и DOP-тест согласно “Respiratory Protective Devices 42 CFR Part 84». Отметим, определение коэффициента проникания по тест-аэрозолям проводилось при расходе воздуха через изделие 30 л/мин, использовался специальный атомно-сорбционный пламенный фотометр. Испытания проводились в исследовательской лаборатории технической экспертизы средств коллективной и индивидуальной защиты органов дыхания работающих при организации ТОВ ПМТС «Спецснаб». Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Таблица 2
Результаты испытаний респираторов по тест-аэрозолям

Название респиратора	Коэффициент проникания по тест-аэрозолям K, %							
	МТ	DOP-тест	ПМ		NaCl		Микошлифпорошок М-5	Пыль доломитовая
			30 л/мин	95 л/мин	30 л/мин	95 л/мин		
Лепесток-200	0,48	0,47	0,22	2,6	0,015	1,1	0,005	0,007
Лепесток-40	1,84	2,05	0,5	3,8	0,022	1,4	0,03	0,06
Фильтр РПА	0,85	0,91	0,09	2,3	0,011	0,9	0,01	0,03
ПП «Лепесток» FFP2	0,73	0,92	0,23	2,5	0,014	1,1	0,01	0,04
ПП «Лепесток» FFP3	0,25	0,34	0,09	1,3	0,010	0,7	0,008	0,01

Примечание. Поскольку в ДСТУ EN указано проводить испытание респираторов при 95 л/мин, то для возможности сравнения результатов было проведена их оценка также и при 30 л/мин.

На основании произведенных исследований видно, что для оценки эффективности СИЗОД желательно испытывать их по тест-аэрозолям масляного тумана и диоктилфталата. Их методики создают наиболее жесткие условия испытаний. Это позволяет определить максимальный коэффициент проскока. А так как эти аэрозоли являются монодисперсными (известны точные размеры частиц), то можно точно рассчитать защитную эффективность респиратора. Недостаток этих методов испытания заключается в том, что тест-аэрозоль отправляет фильтрующий материал. Поэтому метод непригоден для непрерывного контроля параметров на производстве.

К недостаткам DOP-теста (лазерного теста) необходимо отнести то, что испытания должны быть кратковременными, так как коэффициент проскока постоянно возрастает, что объясняется стягиванием волокон при насыщении материала парами диоктилфталата [5].

Преимущества метода испытаний по аэрозолю метиленовой голубой состоят в том, что для его реализации используется простое оборудование и его можно применять для определения коэффициента проскока в диапазоне от 0,01 до 10 %. Однако некоторое количество мелкодисперсного аэрозоля может проскочить через испытуемое изделие и бумагу эспарто [6], что совместно с визуальной оценкой не обеспечивает достаточной точности метода. Исходя из высказанного, данный метод целесообразно использовать для приближенной оценки эффективности фильтров.

Преимуществом метода испытания по хлориду натрия является возможность многократных испытаний каждого образца, так как использование нейтрального сухого аэрозоля и низких массовых концентраций не разрушает фильтрующий материал. В то же время, с его помощью очень трудно объективно оценить защитные свойства СИЗОД, так как: во-первых, у выше описанного метода средний диаметр в два раза больше, чем диаметр частиц наиболее проникающих в легкие человека; во-вторых, невозможно проконтролировать, сколько частиц и какого размера прошло через фильтр, что является очень важным при оценке эффективности СИЗОД.

В США были проведены сопоставительные испытания с использованием DOP-теста и тест-аэрозоля хлорида натрия, при одинаковых условиях на фильтрующих материалах и на фильтрах. Было показано, что значение коэффициента проскока, полученного в опытах с применением аэрозоля натрий хлор, необходимо увеличить в 2...2,5 раза, тогда он будет соответствовать коэффициенту проскока по диоктилфталату [5]. Аналогичные результаты были получены и в России при сравнении коэффициентов проскока, полученных с использованием тест-аэрозолей натрий хлор и масляного [7].

Таким образом, для наиболее объективной оценки качества фильтров и фильтрующих материалов рекомендуется использовать метод оценки эффективности СИЗОД по масляному туману и DOP-тесту, а для текущего контроля качества изготавливаемых изделий тест-аэрозоль NaCl.

Список литературы

1. ГОСТ 12.4.119-82 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Метод оценки защитных свойств по аэрозолям».
2. Чистые помещения: Пер. с японск./Под ред. И. Хакаявы. – М.: Мир, 1990. – 456 с.
3. МИ 6-16-2508-81 «Респираторы противопылевые и фильтры респираторов. Контроль коэффициента проницаемости по пыли».
4. ГОСТ 12.4.041 – 89 ССБТ «Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования».
5. Высокоэффективная очистка воздуха: Пер. с англ./Под ред. П. Уайта, С. Смита. – М.: Атомиздат, 1967. – 312 с.
6. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли – пыли, дымы и туманы/ Пер. с англ. Под ред. Н.А. Фукса. – М.: Химия, 1969. – 428 с.
7. Лепесток (Легкие респираторы)/ Петрянов И.В., Кощеев В.С., Басманов П.И. и др. – М.: Наука, 1984. – 218 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.
Надійшла до редакції 25.10.10*

УДК 504.05:622

© Г.В. Скиба

ОЦІНКА РІВНЯ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ ДЕРИБАСІВСЬКОГО КАР'ЄРУ ПО ВИДОБУТКУ ГАБРО НА ОБ'ЄКТИ ДОВКІЛЛЯ

Проведена экологическая оценка уровня загрязнения окружающей среды предприятием по добыче габбро с помощью интегрального условного показателя загрязнения. Установлено, что наибольшее негативное влияние испытывает гидросфера. Анализ качественных показателей карьерного водоотлива предприятия показал превышение предельных концентраций по таким показателям: нитриты, взвешенные вещества, общий феррум.

Проведена екологічна оцінка рівня забруднення довкілля підприємством по видобутку габро за допомогою інтегрального умовного показника забруднення. Встановлено, що найбільшого негативного впливу зазнає гідросфера. Аналіз якісних показників кар'єрного водовідливу підприємства показав перевищення граничних концентрацій по таких показниках: нітрати, завислі речовини, загальний феррум.

Ecological assessment of environment pollution level by gabro mining quarry(plant) was given with the help of the integral conditional pollution indicator. It was defined that hydrosphere is the most polluted. Quarry drainage qualitative indices analysis showed limiting concentration excelling in the following indices: nitrites, hang over substance, _general Fe.

Вступ. У багатьох гірницевидобувних регіонах України стан навколошнього природного середовища характеризується складною екологічною ситуацією. На території Житомирської області розміщені чисельні родовища природного облицювального каменю. Внаслідок особливості геологічної будови Житомирщини, значна частина Українського кристалічного щита знаходиться в межах Житомирської області і представлена як кислими так і основними породами, виробництво кам'яної продукції сконцентровані на її території [1]. Всі родовища облицювального каменю в Житомирській області представлені, в основному, породами високої міцності: гранітами, лабрадоритами, габро, анортозитами.

Найбільші збитки природно-територіальним комплексам наносять відкриті розробки надр, загальний обсяг яких з кожним роком зростає. Дерибасів-

ське родовище габро Володарськ-Волинського району розробляється відкритим способом тому, необхідно розглянути і вивчити вплив виробничих процесів при розробці даного кар'єру на складові природного навколошнього середовища.

Метою даної роботи є екологічна оцінка рівня забруднення об'єктів довкілля внаслідок діяльності гірничуого підприємства по видобутку габро (на прикладі розробки Дерибасівського родовища габро Володарськ-Волинського району Житомирської області), враховуючи особливості хімічного складу гірської породи габро та особливості технології її видобутку.

Аналіз досліджень і публікацій. При відкритій розробці корисних копалин екологічні збитки наносяться перш за все земельним ресурсам та гідросфері, в менший мірі - атмосфері. Гірничовидобувні підприємства, як відомо є основними ініціаторами трансформації ґрунтів ландшафтів, які знаходяться в межах впливу даних промислових об'єктів. Проблеми кількісної оцінки рівня впливу розробки кар'єрів на ґрунти і гідросферу детально розглянуті в роботах Т.І. Долгової [2-5]. Оцінка дії забруднювачів навколошнього природного середовища за допомогою тест-систем представлена в роботах А.І. Горової, С.Л. Кулиної [6-7]. Проте розробка родовищ габро має свої особливості впливу на об'єкти довкілля. Для вивчення даних особливостей була застосована методика з використанням інтегрального умовного показника забруднення, який дозволяє визначити рівень забруднення об'єктів довкілля і за відповідною шкалою їх екологічний стан [6].

Результати досліджень. В Житомирській області сконцентровано більше 20% всіх родовищ облицювального каменю (70 родовищ із 300), та 60% різновидів високоміцного облицювального каменю запасів України. Одним з цінних високоміцних порід декоративного каменю є габро. Родовища габроїдних порід розташовані переважно в межах Українського кристалічного щита, а найбільше вони поширені в Житомирській та Рівненській областях. Широке використання мають габро і лабрадорити Сліпчицького, Кам'янобрідського, Головинського, Слобідського, Пенізевицького, Бистріївського, Дерибасівського та інших родовищ (рис. 1).

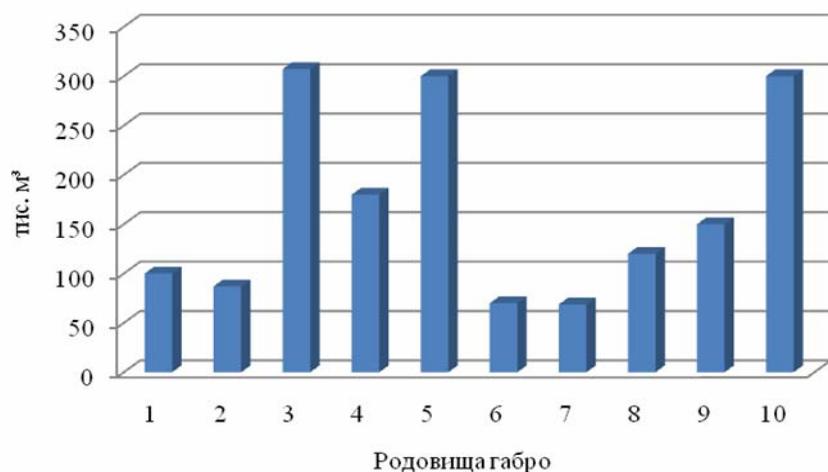


Рис. 1. Балансові запаси габро: 1 – Північно – Слобідське; 2 – Сліпчицьке; 3 – Пенізевицьке – I; 4 – Букинське; 5 – Пенізевицьке – II; 6 – Бистріївське; 7 – Лугове; 8 – Торчинське; 9 - Кам'янобрідське; 10 – Дерибасівське

Розвідані родовища характеризуються кольоровою гамою та декоративними властивостями, які не гірші за кращі зарубіжні аналоги, мають значні запаси та сприятливі гірничо-геологічні умови [8].

Дерибасівське родовище габро розвідувалось в 1996-1999 р.р. Північною ГРЕ по договору з ремонтно-будівельним підприємством "Одесабудсервіс" [9]. Родовище знаходиться на відстані 47 км на північ від м. Житомир і на відстані 28 км на південний схід від м. Коростень. Балансові запаси незміненого габро складають 281,5 тис. м³, балансові запаси інтенсивно тріщинуватого габро (супутня корисна копалина) дорівнюють 51,1 тис. м³. Проведеними аналізами складу корисної копалини встановлено, що вона є типовою для габроїдних порід коростенського комплексу. Результати виконаних фізико-механічних досліджень на міцність, морозостійкість, стирання підтверджують високі якісні характеристики сировини.

Розробка основної корисної копалини в кар'єрі проводиться уступами. Відокремлення монолітів від масиву досягається шляхом утворення відрізних щілин по торцям монолітів і підриванням невеликих зарядів димного пороху в шпурах, що пробурені по наміченій лінії відколу. Кар'єрна вода відкачується в ставок-відстійник і далі самотоком потрапляє до заболоченої улоговини і р. Добринки. Район розміщення кар'єру відноситься до басейну р. Добринка, мінімальна відстань до якої становить 500 м на південний схід. Річка Добринка впадає в р. Тростяниця, яка на відстані 12 км вливається в р. Ірша (притока р. Тетерів).

При розробці Дерибасівського родовища відбувається вплив на геологічне середовище та ґрунти. Цей вплив характеризується, в основному, як механічний і супроводжується переміщенням розкривних порід у відвали, руйнацією ґрутового покриву, утворенням глибокої виймки. Цей вплив обмежений виділеною під видобуток територією з малопродуктивними ґрунтами, яка не задіяна в сільськогосподарському виробництві. Після видобування запасів корисної копалини передбачається рекультивація порушених внаслідок видобування корисної копалини земель, з утворенням водойми на місці кар'єрної виймки, нанесенням ґрутового шару з наступною біологічною рекультивацією відвалів і укосів кар'єру.

Для проведення екологічної оцінки стану об'єктів довкілля внаслідок розробки Дерибасівського родовища була використана методика з визначення інтегрального умовного показника забруднення з використанням даних Житомирської екологічної інспекції та їх порівняння з нормативними значеннями [6]. На основі санітарно-гігієнічних показників забруднення об'єктів довкілля протягом 2007-2009 років були обчислені умовні та інтегральні умовні показники забруднення (ГУПЗ) об'єктів довкілля: атмосфери, гідросфери і ґрунтів. Згідно з проведеним аналізом і на основі запропонованої авторами [6] шкали оцінки рівня забруднення (таблиця 1) було встановлено, що ґрунти мають «середній» рівень забруднення, повітря – «вище за середній», а води річки Добринки та прилеглої заболоченої місцевості – «максимальний» (рис 2).

Таблиця 1

Шкала оцінки рівня забруднення об'єктів довкілля за значеннями умовного показника забруднення (УПЗ)

Діапазон чисельних значень УПЗ	Рівень забруднення
0,000-0,170	Низький
0,171-0,340	Нижче середнього
0,341-0,510	Середній
0,511-0,680	Вище середнього
0,681-0,850	Високий
0,851 і більше	Максимальний

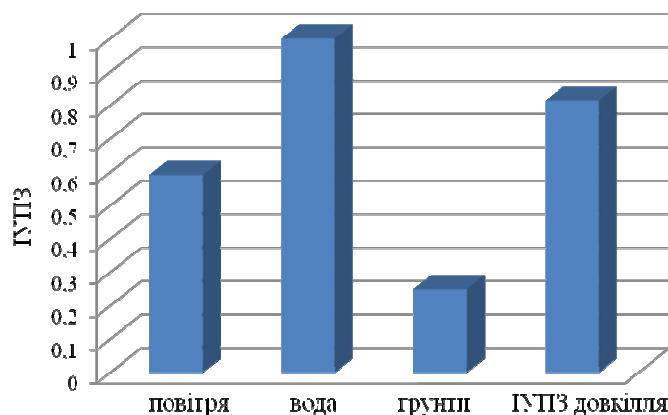


Рис. 2. Динаміка середніх значень ГУПЗ стану довкілля внаслідок роботи
Дерибасівського кар'єра

Подальші дослідження були спрямовані на вивчення негативного впливу діяльності Дерибасівського кар'єра на гідросферу. З цією метою були проведенні експериментальні дослідження якості кар'єрної води і скидів по загальних гідрохімічних показниках. здійснювався забір проб води з р.Добринка, вище та нижче скиду за течією на відстані 500 м. Аналіз одержаних експериментальних даних показав перевищення ГДК в скидах і в р. Добринка по наступним показниках: завислі речовини, нітрати, загальний ферум (рис. 3). Вміст сольового амонію в річці нижче скиду і в кар'єрній воді має високі показники, проте вони не перевищують ГДК.

На території Дерибасівського родовища водоприток до кар'єру здійснюється, переважно, за рахунок водоносного горизонту, приуроченого до тріщинуватої зони кристалічного масиву. Хімічний склад води кар'єрного водовідливу початково формується за рахунок притоку підземних вод, потім зазнає змін у процесі виробничої діяльності. Підприємство при видобуванні корисної копалини користується буро-підривними роботами, що призводить до подрібнення гірської породи і підвищує інтенсивність її вимивання, цим можна пояснити високий вміст завислих речовин в кар'єрній воді. Оскільки Дерибасівський кар'єр використовує в якості вибухової речовини (димний порох), що містить в своєму складі аміачну селітру, то це пояснює підвищений вміст в скидах іону амонію та інших нітрогенвмісних сполук: нітратів та нітратів. Аналізуючи якість води, в

першу чергу, слід звернути увагу на вміст у воді нітрит-іону (NO_2^-). Іони амонію та нітрит-іони нестійкі, окиснюються до нітратів і їх концентрація у воді підвищується. Нітрит-іони є індикатором свіжого забруднення води.

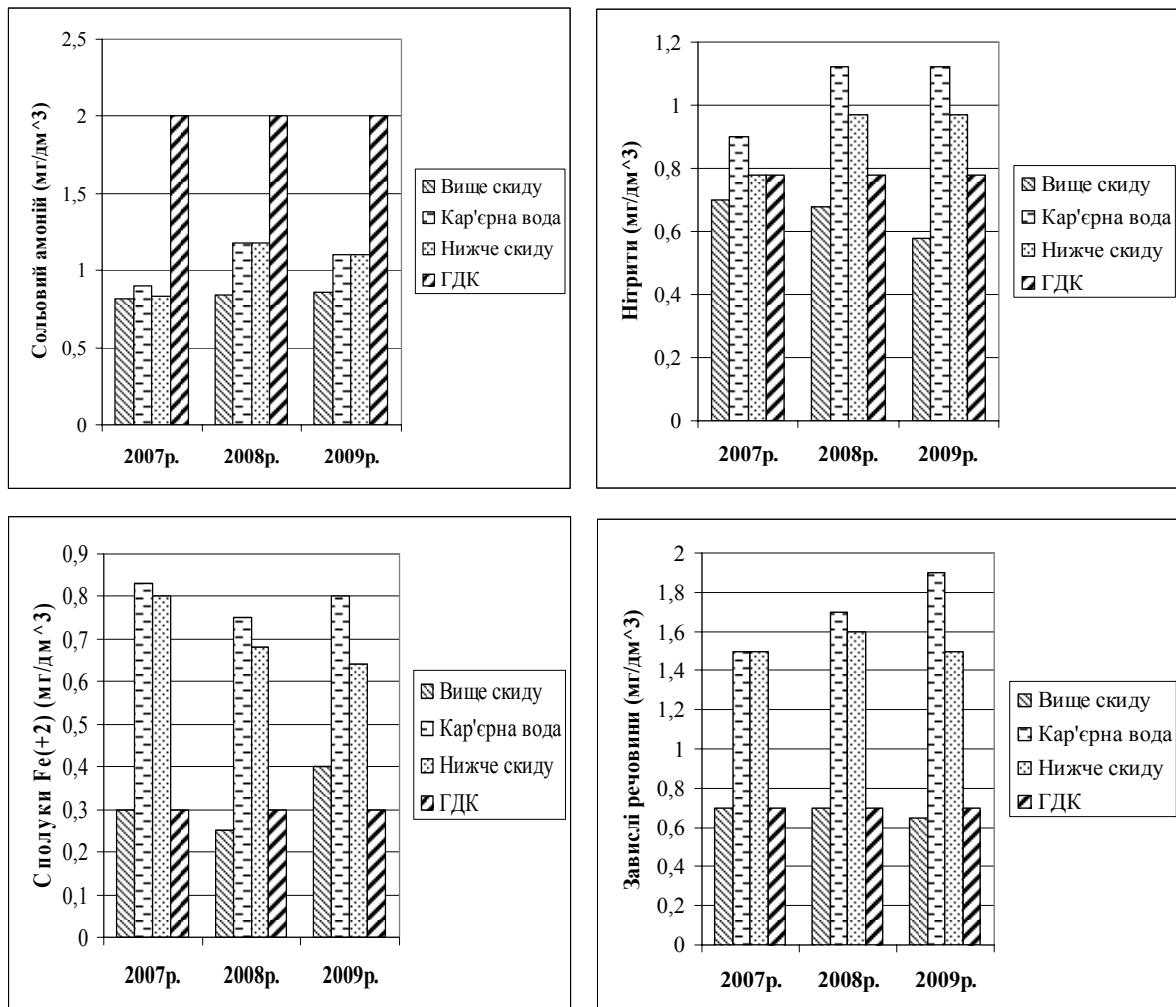


Рис. 3. Аналіз середніх значень хімічних показників якості води (сольового амонію, нітритів, завислих речовин, вмісту Fe^{2+}) в різних пробах: вище та нижче скиду р. Добринка, кар'єрної води за період 2007-2009 рр.

Висновки.

1. Екологічна оцінка стану об'єктів довкілля внаслідок розробки Дерибасівського родовища з використанням інтегрального показника забруднення середовища показала, що ґрунти мають «середній» рівень забруднення, повітря – «вище за середній», а води річки Добринки та прилеглої заболоченої місцевості – «максимальний». Загалом довкілля зазнає «високого» рівня забруднення.

2. При вивчені вод кар'єрного водовідливу гірничовидобувного підприємства було зафіксовано перевищення допустимих значень за такими показниками: сольовий амоній, нітрити, завислі речовини та загальний ферум.. Сидання кар'єрних вод закономірно призводить до підвищення забрудненості водойми. Подібна тенденція простежується і для інших кар'єрів по видобуванню габро. Оскільки їх розміщення по території регіону є не рівномірним, то це призводить до створення осередків забруднення довкілля.

Список літератури

1. Бакка М. Т., Коробійчук В. В., Зубченко О. А. Обробка природного каменю. – Житомир: РВВ ЖДТУ, 2006. – 438 с.
2. Долгова Т.И. Деградация почвенного покрова под воздействием факторов, инициируемых горнодобывающими предприятиями (2. Понижение уровня водоносных горизонтов). // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №6. – С. 101-105.
3. Долгова Т.И. Деградация почвенного покрова под воздействием факторов, инициируемых горнодобывающими предприятиями (3. Нарушение технологий водоотведения). // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №7. – С. 95-98.
4. Долгова Т.И. Деградация почвенного покрова под воздействием факторов, инициируемых горнодобывающими предприятиями (5. Сброс минерализованных и сточных вод без очистки). // Науковий вісник НГУ. – 2006. – №10. – С. 93-96.
5. Долгова Т.И. Определение уровня техногенного воздействия горнодобывающих комплексов на почвы). // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №6. – С. 68-73.
6. Горова А.І., Скворцов В.О., Кулина С.Л., Берекета Я.Д. Аналіз інтегральної санітарно-гігієнічної оцінки об'єктів довкілля в Червоноградському гірничо-промисловому регіоні). // Науковий вісник НГУ. – 2005. – №10. – С. 95-97.
7. Горова. А.І., Кулина С.Л.. Оцінка дії забруднювачів навколошнього природного середовища Червоноградського гірничопромислового району за токсико-мутагенним фоном за допомогою тест-системи «стерильність пилку рослин». // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №6. – С. 73-78.
8. Коржнев М.М., Михайлов В.А., Міщенко В.С. та інші. Основи економічної геології. – Київ: «Лотос», 2006. – 223 с.: іл.. – Бібліограф.: с. 218 – 222.
9. Звіт Північної геологорозвідувальної експедиції державного геологічного підприємства «Північгеологія» про результати виконаних робіт на блочний камінь для облицювальних матеріалів в 1996 – 1999 р.р. Геолого – економічна оцінка Дерибасівського родовища габро в Володарсько – Волинському районі Житомирської області. – смт. Нова Борова: Північгеологія, 1999 р. – 120 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Долговою Т.І.
Надійшла до редакції 25.10.10*

УДК 628.34

© Л.А. Фролова, Н.Н. Шапа, Г.Чжан

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ В ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СТОЧНЫХ ВОД

В данной работе рассматривается возможность доочистки сточных вод металлургической промышленности от коллоидных соединений железа. Было установлено, что коллоидные частицы сульфида железа произвольно не коагулируют и свободно проходят через фильтр. Исследовано влияние интенсивности ультразвука и продолжительности обработки на степень очистки воды. Авторы предлагают применение ультразвуковой коагуляции частиц с дальнейшим отстаиванием или фильтрацией сточной воды.

У даній роботі розглядається можливість доочищення стічних вод металургійної промисловості від колоїдних сполук заліза. Було встановлено, що колоїдні частинки сульфіду заліза довільно не коагулюють і вільно проходять через фільтр. Досліджено вплив інтенсивності ультразвуку та тривалості обробки на ступінь очищення води. Автори пропонують застосування ультразвукової коагуляції частинок з подальшим відстоюванням або фільтрацією стічної води.

In this work we consider the possibility of post-treatment of wastewater from the metallurgical industry of colloidal iron compounds. It was found that colloidal particles of iron sulfide does not coagulate arbitrary and freely pass through the filter. It was investigated the effect of ultrasonic intensity and duration of treatment on the degree of water purification. The authors propose the application of ultrasonic coagulation of particles with subsequent sedimentation or filtration of waste water.

Введение. Очистка сточных вод metallургических предприятий – сложная проблема и требует комплексного решения. Одной из важнейших экологических проблем, связанной со сбросом сточных вод, является поступление в водоёмы соединений металлов, которые находятся в коллоидном состоянии. Такие частицы плохо задерживаются в применяемых системах очистки и приводят к накоплению металлов в водоемах.

Для очистки сточных вод от коллоидных частиц применяются различные методы, в том числе фильтрование на мембранных фильтрах, ультрафильтрация, обратный осмос, коагуляция, электрокоагуляция, акустическая коагуляция, флотация и другие [1].

В нас тоящее время перспективны безреагентные методы очистки воды. Особый научный и практический интерес представляет акустическая очистка как перспективный и экономически целесообразный метод. Действие кавитации на воду приводит к изменению ее физико-химических свойств: увеличению рН, электропроводности, увеличению числа свободных ионов и активных радикалов, структуризации и активации молекул.

Постановка задачи. Данная работа посвящена исследованию возможности доочистки metallургических сточных вод от коллоидных частиц соединений железа. Предварительный анализ проб сточных вод отобранных в месте сброса, показал, что концентрация общего железа в сбрасываемой воде составляет 0,013-0,084 г/л, а в некоторых случаях и 0,6 г/л.

Основным объектом исследований в работе являются промышленные сточные воды Днепропетровского metallургического завода им. Петровского, содержащие в своём составе соединения железа во взвешенном коллоидном состоянии. Сточные воды отбирались непосредственно из устья выброса на предприятии с помощью пробоотборника простой конструкции.

Определение содержания Fe^{3+} проводилось фотометрически по известной методике. Для исследования изменения размеров частиц загрязнителя во времени эксперимент проводили аналогично, но обработанную воду не фильтровали, а сразу определяли оптическую плотность, используя фотоэлектроколориметр КФК2-УХЛ42 [2].

Для исследования дисперсного состава получаемых осадков сточные воды обрабатывали ультразвуком, отстаивали до осаждения твёрдой фазы, жидкость декантировали, а осадок переносили на предметное стекло и высушивали с помощью тепловентилятора West EHF 2001WR. Высушенные осадки исследовали с применением оптического микроскопа Carl Zeiss NU-2, который для получения микрофотографий был оборудован цифровой фотокамерой Canon IXUS 90IS.

Размер взвешенных частиц определяли также турбидиметрически [3,4].

Предварительными исследованиями было показано, что железо частично содержится в сульфидной форме. Коллоидные частицы долгое время не оседают, произвольно не коагулируют и свободно проходят через фильтр.

Для исследования возможности доочистки железосодержащих сточных вод путём ультразвуковой коагуляции загрязнителя была использована лабораторная установка, изображенная на рис. 1. Основной элемент установки – ультразвуковой генератор и преобразователь в комплекте УЗДН-2Т. Преобразователь магнитострикционный, охлаждаемый, с концентратором конической формы и погружным рабочим инструментом. Ультразвуковой генератор позволяет работать на частоте 22 и 44 кГц и изменять интенсивность озвучивания 0-100 Вт/см³ при обрабатываемом объёме до 50 мл.

В опытах использовали интенсивность озвучивания 20-100 Вт/см³. Время обработки 5-45 мин.

После обработки сточные воды сливали из керамического стакана в колбу, фильтровали и исследовали на содержание соединений железа. Полученные осадки прочно удерживаются в порах фильтра и не представляют ценности.

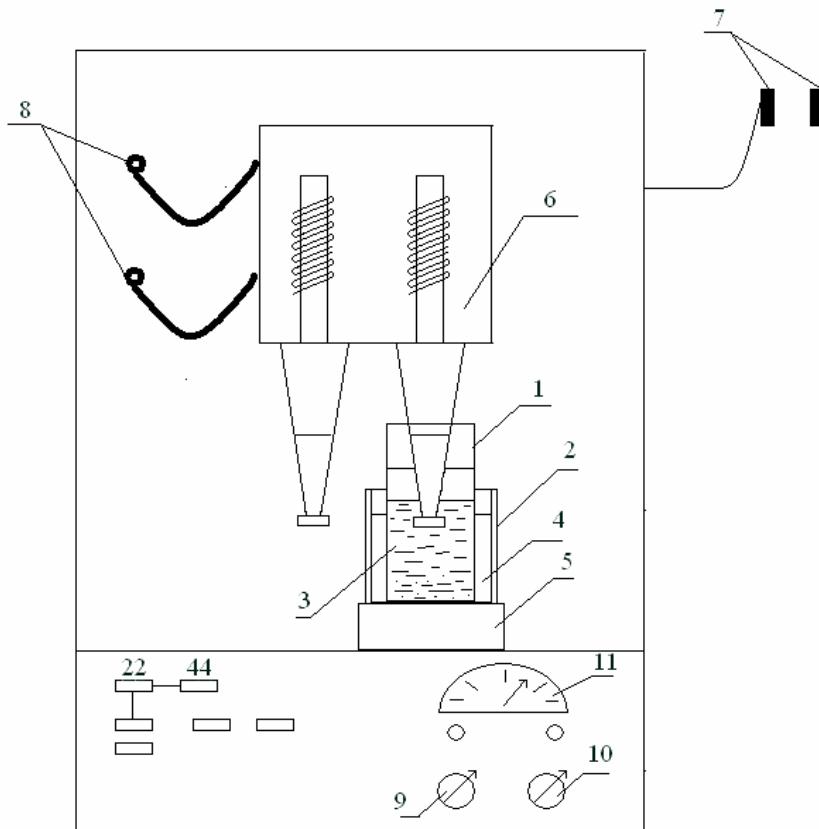


Рис. 1. Схема лабораторной установки:

1-реакционный сосуд; 2-охладительная ёмкость; 3-обрабатываемая вода; 4-охлаждающая вода; 5-звуконепроницаемая подложка; 6-блок магнитострикционных излучателей; 7-колодка подключения излучателей на 22 и 44 кГц; 8-ввод и вывод охлаждающей воды блока излучателей; 9-регулятор мощности; 10-регулятор резонанса; 11-миллиамперметр

Результаты работы. Как показали проведенные эксперименты, уменьшение плотности звукового потока не влияет на скорость процесса коагуляции.

Однако значительно изменяются размеры полученных конечных частиц. Степень очистки также пропорционально меняется. Максимальная степень очистки составляет 63% и достигается через 20 минут после начала обработки пробы. При продолжении процесса в течение следующих 25 минут происходит разрушение образованных частиц, и соединения железа снова переходят в коллоидное состояние.

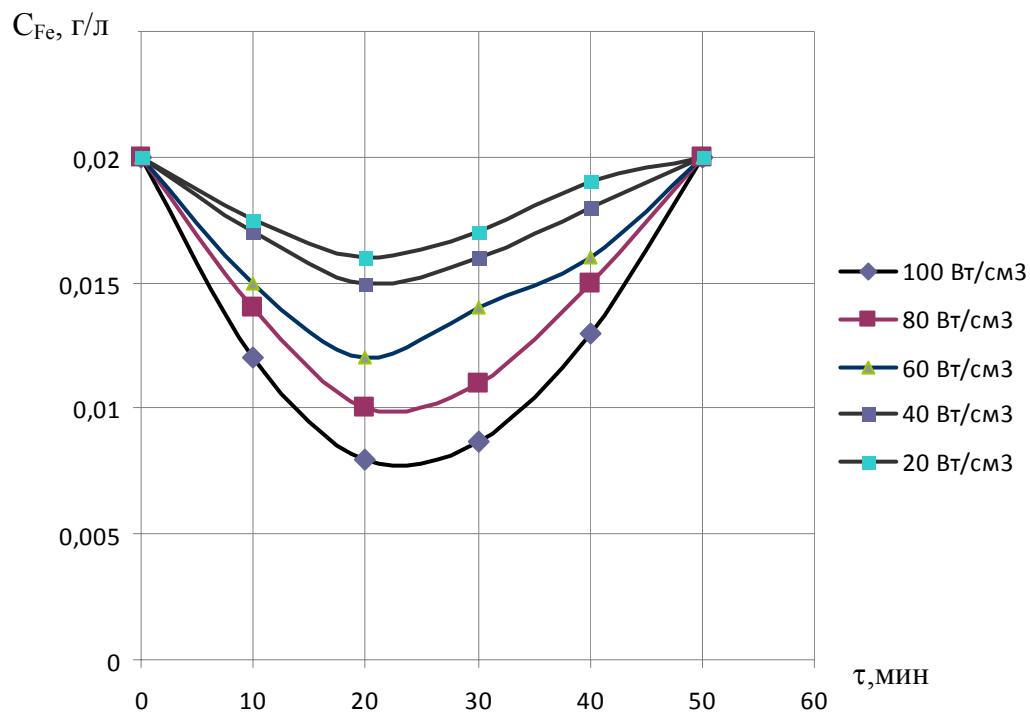


Рис. 2. Зависимость концентрации остаточного железа в обработанной воде от времени обработки

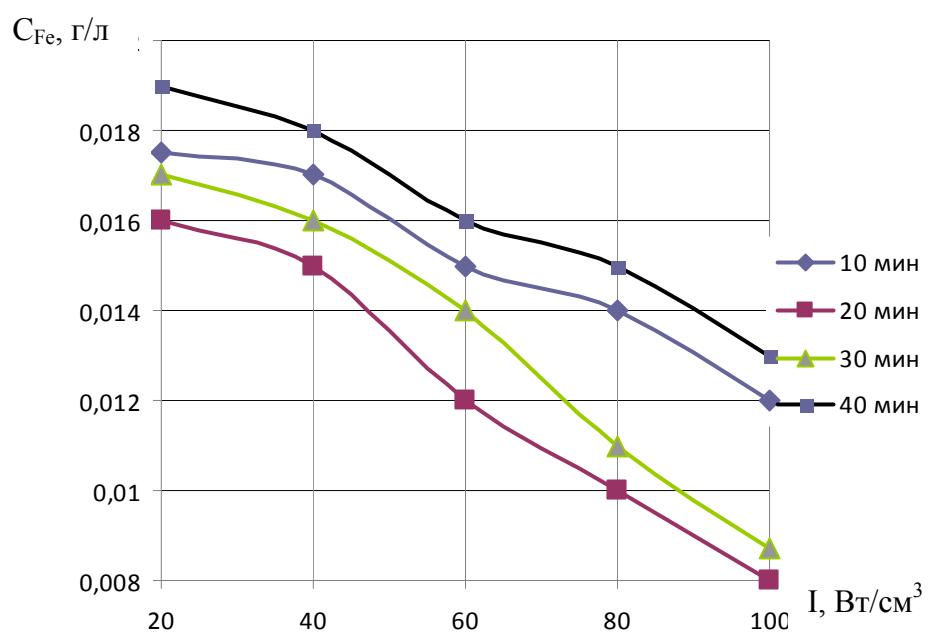


Рис. 3. Зависимость концентрации остаточного железа в обработанной воде от интенсивности обработки

Степень очистки при этом снижается до 0%. Для объяснения этого явления была предпринята попытка проследить динамику изменения размеров частиц. Для этого применялся микроскопический и турбидиметрический метод.

Микрофотографии осадков, полученных ультразвуковой обработкой сточных вод, приведены на рисунке 4.

Исследования размеров частиц подтверждают предположение о разрушении скоагулировавших частиц при длительной обработке[5].

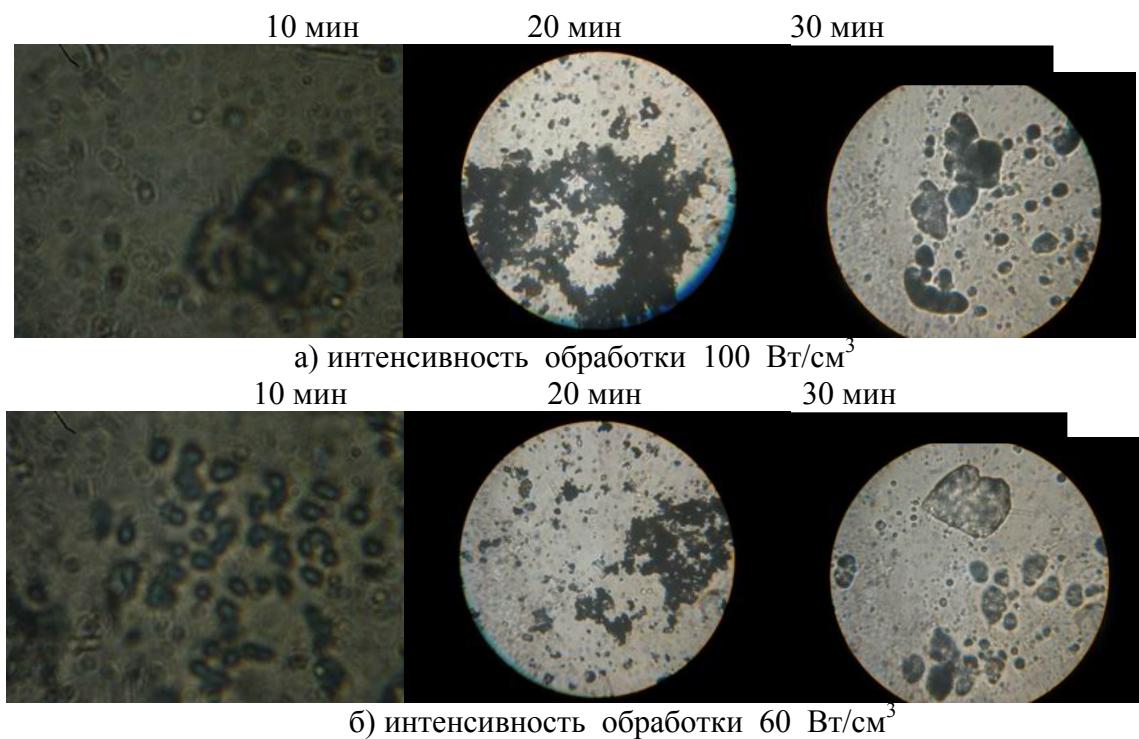


Рис. 4. Микрофотографии осадков, полученных ультразвуковой обработкой сточных вод

Результаты проведенных исследований были использованы для разработки принципиальной технологической схемы процесса доочистки железосодержащих сточных вод (рисунок 5).

Основным аппаратом схемы является ультразвуковая колонна 3. Ультразвуковые колебания возбуждаются в обрабатываемой сточной воде магнитострикционным преобразователем 4, питаемым от генератора ультразвуковых колебаний 10 через кабель, подведенный посредством кабельного ввода 9.

Обрабатываемые сточные воды подаются в ультразвуковую колонну напорным насосом 2 и обрабатываются ультразвуком частотой 22 кГц и интенсивностью $100 \text{ Вт}/\text{см}^3$ в течение 20 минут. Эти параметры были выбраны как основные в результате исследований, проведенных нами ранее.

После ультразвуковой обработки сточная вода, содержащая скоагулировавшиеся осадки, направляется в отстойник 6, где окончательно освобождается от твердой фазы. На схеме показан вариант принципиальной технологической схемы непрерывной очистки. В этом случае вода непрерывно проходит через ко-

лонну. При этом она пересекает ультразвуковое поле и коагулирует при общем времени пребывания воды в колонне 20 минут. Возможны также варианты технологических схем периодического действия и схемы с рециркуляцией воды.

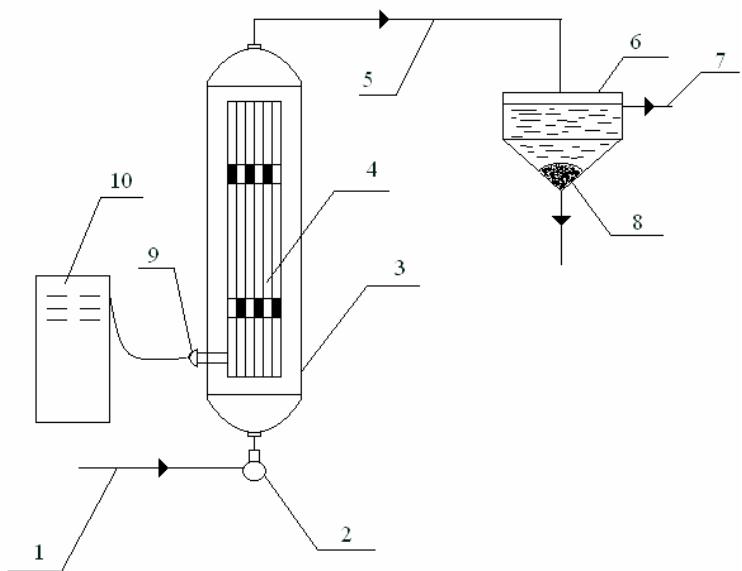


Рис. 5. Принципиальная технологическая схема доочистки сточных вод от коллоидных примесей соединений железа:

1—подвод сточной воды; 2—напорный насос; 3—ультразвуковая колонна; 4—магнитострикционный преобразователь; 5—обработанная вода; 6—отстойник; 7—осветленная вода; 8—осадок на выгрузку; 9—кабельный ввод; 10—генератор ультразвуковых колебаний

Выводы. Проведенные исследования подтверждают применимость метода ультразвуковой кавитационной обработки для обработки сточных вод с целью их очистки от соединений железа. Полученные в описанных экспериментах данные могут служить исходным материалом для разработки принципиальной схемы и обоснования основных параметров процесса очистки сточных вод от коллоидных соединений железа.

Список литературы

1. Применение коагулянтов, содержащих железо, в процессах очистки природных и сточных вод. //Мамченко А. В., Мехико И. И. и др. – Химия и технол. воды.–2006. – № 4.– с. 342-355.
2. Алексовский В.Б. Физико-химические методы анализа. – Л.: Химия.– 1988. – 373с.
3. Лурье Ю.Ю., Рыбникова А.И. Химический анализ производственных сточных вод. - М: Химия.– 1974.– 335с.
4. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии /Под ред. Ю.Г. Фролова и А.С. Гродского. - М.:Химия.–1986.–216 с.
5. Колодяжный А.Т., Фролова Л.А. Гидрофазное соосаждение гидрооксидов железа и кобальта в ультразвуковых полях //Вестник национального технического университета ХПИ.– 2008.- № 13.– С.30-33.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О. В.
Надійшла до редакції 21.10.10*

ХІМІЧНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ДЕЯКИХ ПЕСТИЦІДІВ В ПРИРОДНИХ УМОВАХ

Показано за допомогою схем процеси хімічного перетворення деяких пестицидів (децису, фоксиму, актари) до низькомолекулярних речовин під дією кліматичних факторів, які здатні до подальшого природного впливу.

Показаны с помощью схем процессы превращения некоторых пестицидов (дециса, фоксима, актары) под действием климатических факторов в низкомолекулярные вещества, которые оказывают дальнейшее влияние на природу.

It is schematic shown the processes of chemical transformation of some pesticides (decis, foscim, actara) in the low molecular substances under the influence of climatic factors, that have an effect on the environment.

Екологічні наслідки забруднення навколошнього середовища різними хімічними речовинами, в тому числі і пестицидами, що приводять до порушення екологічної рівноваги довкілля, погіршення стану здоров'я людей, алергічних реакцій біонтів та інших небажаних процесів, вимагають детального розглядання цієї проблеми. Науковий інтерес викликають, насамперед, питання екологічної безпечності продуктів руйнування хімічних сполук, які застосовуються в системі агропромислового комплексу, мінімізація їх залишкової кількості в природних об'єктах [1].

Процес перетворення хімічних речовин в біологічних об'єктах відбувається під впливом природних факторів: біотичних (структурних і фізіологічно активних речовин самих біооб'єктів) та абіотичних або кліматичних (температури, вологості повітря, опадів, кисню, сонячної радіації, тощо). За участі цих чинників трансформація діючої речовини пестицидів проходить за складним механізмом хімічних реакцій: гідролізу, окиснення, дезалкілювання, гідроксилювання, фотолізу, кон'югації та ін. [2–6].

Мельниковим Н.Н. та Ароновою Н.І. показано [4], що у рослинах в результаті хімічних перетворень синтетичних піретроїдів, окрім децису, за часом утворюються стійкі метаболіти, переважно 2,2-диметилцикло-пропанова кислота, 3-феноксибензойна кислота, 3-феноксибензиловий спирт. Механізм процесу розкладання піретроїдних сполук під дією абіотичних факторів (атмосферної води, кисню повітря, сонячного проміння) на листках рослин після обприскування, на нашу думку, можна представити схемою (рис. 1). Присутність наведених на схемі можливих продуктів деструкції діючої речовини децису (дельтаметрину) свідчить, що відбуваються реакції гідролізу, окислення, фотолізу, чинниками яких виступають абіотичні фактори.

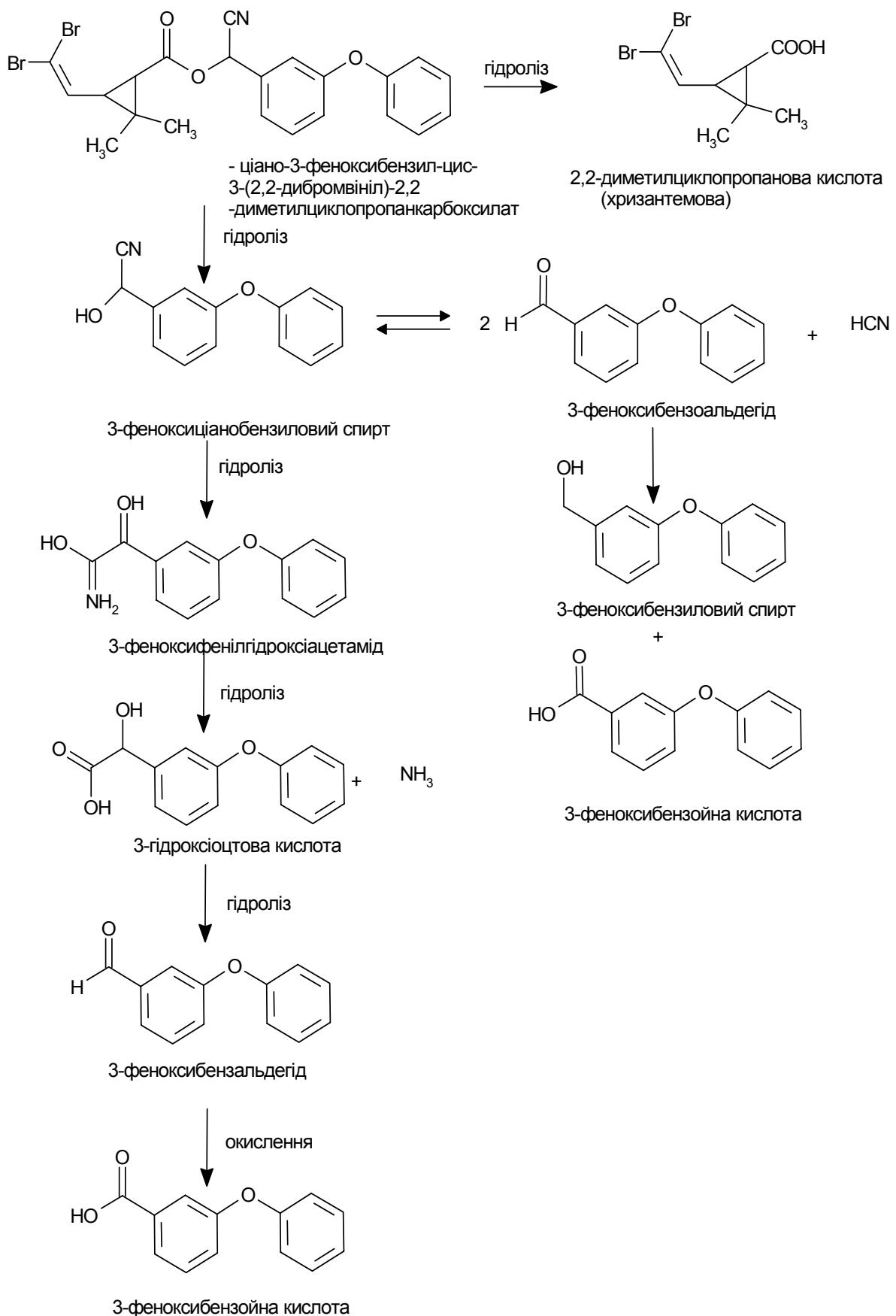


Рис. 1. Схема хімічної деградації дельтаметрину під дією кліматичних факторів

Гідролітичні реакції руйнування дельтаметрину (α -циано-3-феноксибензил- γ -цис-3-(2,2-дібромвініл)-2,2-диметилциклопропан-карбоксилат) до низькомолекулярних сполук (3-феноксибензойної кислоти, 3-феноксибензилового спирту), згідно зі схемою на рис. 1, проходять за складним механізмом у місцях естерних зв'язків, а також при перетворенні CN-групи в NH₂-групу. Альдегідні групи у феноксифенільному фрагменті можуть окиснюватися до карбоксильних (утворення 3-феноксибензойної кислоти), 3-феноксибензиловий спирт може утворюватися шляхом диспропорційного перетворення двох молекул 3-феноксибензальдегіду.

При дослідженні хімічної деградації фосфорорганічних сполук під дією природних факторів на рослинах Д. Парком [5] були ідентифіковані дієтилфосфат та похідні фенілоксоцтової кислоти. Послідовність можливого утворення цих речовин при розкладанні фоксиму (0,0-діетилтіофосфорил- α -цианобензальдоксил) нами представлена схемою на рис. 2.

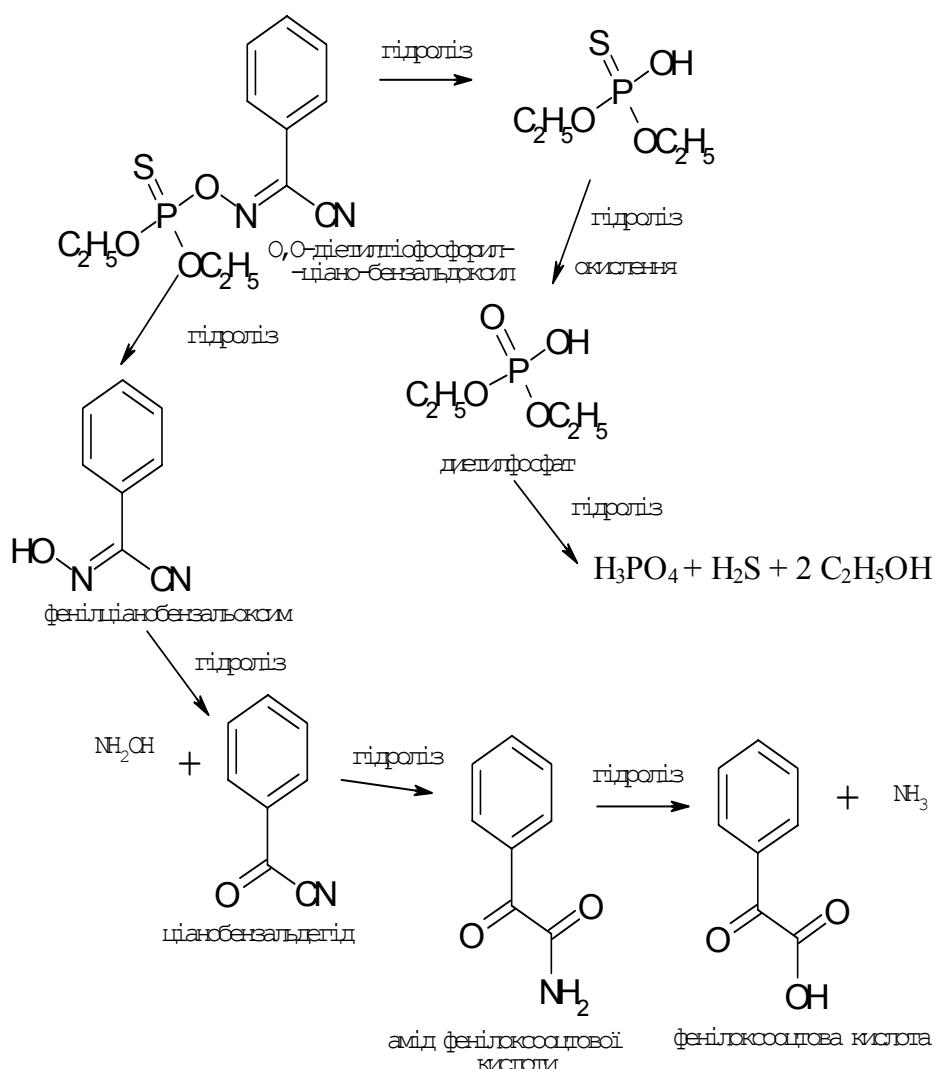


Рис. 2. Схема хімічної деградації фоксиму під дією кліматичних факторів

За з представленаю схемою (рис. 2), серед кінцевих низькомолекулярних продуктів деструкції фоксиму присутня ортофосфорна кислота, яка здатна забагачувати орні ґрунти поживним елементом – фосфором. Крім того, утворюються деякі енергетичні сполуки (азот-, сірковмісні), які в оптимальних кількостях є корисними для екосистем.

Похідні піridину – неонікотиноїди, окрім тіаметоксам (актара), за хімічною природою є достатньо стійкими сполуками. За даними С.Р. Білана, А.Ф. Грапова [6], вони, потрапляючи до рослин, не швидко розкладаються під дією кліматичних факторів (атмосферної води, кисню повітря, сонячного проміння), а володіють тривалим залишковим ефектом. Можливий механізм руйнування тіаметоксаму наведений на рис. 3.

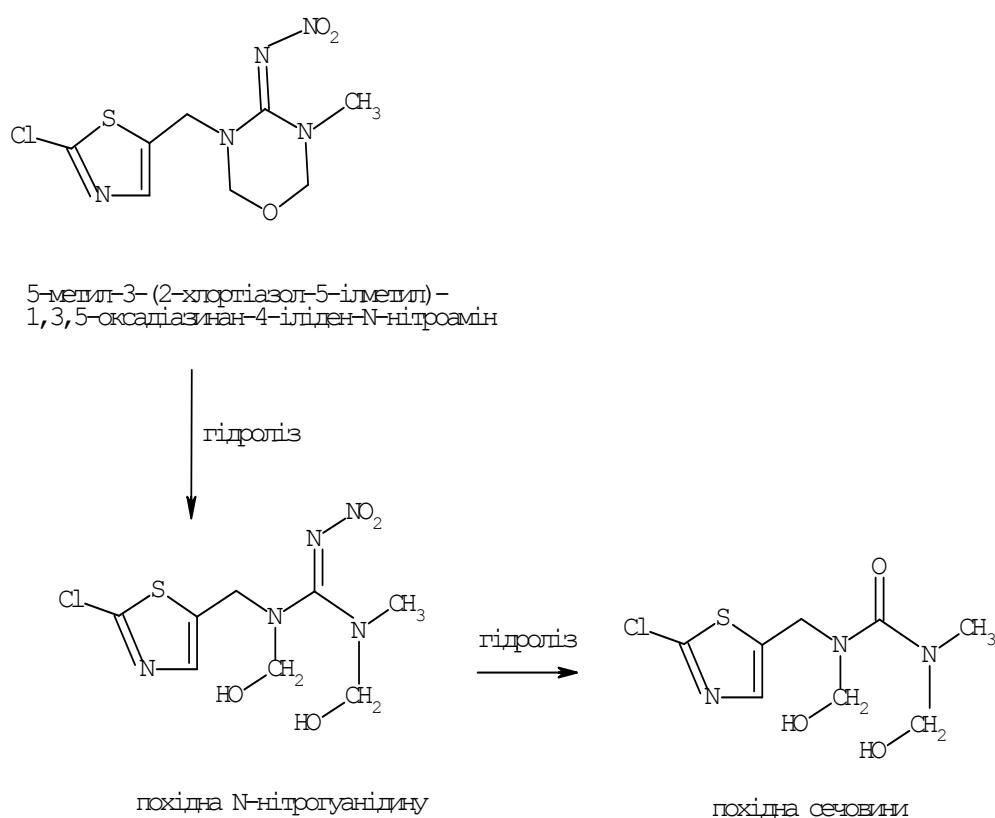


Рис. 3. Схема хімічної деградації тіаметоксаму під дією кліматичних факторів

Незначну швидкість руйнування молекули тіаметоксаму (5-метил-3-(2-хлортіазол-5-ілметил)-1,3,5-окса-діазинан-4-іліден-N-нітроамін) можна пояснити стабільністю тіазолового фрагменту, яка забезпечується хлор-іоном. Щодо гідролітичного розкладення, то воно проходить в оксадіазинановому циклі з утворенням спочатку похідної N-нітрогуанідину, потім похідної сечовини. Продукти хімічного розкладу тіаметоксаму, окрім похідна сечовини, у певній кількості можуть сприяти поліпшенню складу ґрунтів орного горизонту, збіль-

шенню кількості поживного азоту, необхідного для рослин. При цьому необхідно контролювати у ґрунтах вміст речовин кислого характеру.

Висновки

Таким чином, використання найбільш поширених в системі АПК України пестицидів у дозволених нормах витрат зв'язується з їх трансформацією в умовах дії кліматичних чинників та утворенням низькомолекулярних продуктів органічного і неорганічного походження. Динаміка таких хімічних перетворювань, як представлено за схемами, є складним та тривалим процесом, що може приводити до акумуляції речовин кислого характеру в природних об'єктах, а саме ґрутовому середовищі. Отже, для збереження екологічного природного балансу важливо виявляти можливі хімічні наслідки, та своєчасно їх контролювати.

Список літератури

1. Бублик Л.І. Екотоксикологічний моніторінг пестицидів в агроценозах // Інтегрований захист рослин на початку ХХІ століття: Матеріали міжнар. наук.-практичної конф. (1-5 листопада 2004 р.). – К.: Колобіг, 2004. – С. 587-594.
2. Деннис В. Парк. Биохимия чужеродных соединений: Пер. с англ. – М.: Медицина, 1973. – 288 с.
3. Мельников Н.Н. Пестициды. Химия, технология и применение. – М.: Химия, 1987. – 712 с.
4. Мельников Н.Н., Аронова Н.И. Метаболизм новых пестицидов в растениях и животных // АгроХимия. – 1991. – №7. – С. 127-138.
5. Белан С.Р., Грапов А.Ф., Мельникова Г.М. Новые пестициды: Справочник. - М.: Граваль, 2001. – 196 с.
6. Динаміка розпаду пестицидів / Бублик Л.І., Ассасса В.Ф., Чергіна О.Д., Касян Л.М. // Захист рослин. – 1998. – № 6. – С. 9-10.

*Рекомендовано до публікації д.б.н. Горовою А.І.
Надійшла до редакції 25.10.10*

УДК 502.175+528.921(477.52/.6)

© А.В. Галата, Г.А. Менделенко

СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА БАЗИ ДАНИХ РАДІАЦІЙНОГО ФОНУ м. ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКА У МОДУЛІ ArcGIS-9

В работе рассмотрены данные радиационного фона центральной части г.Днепродзержинска. Проведен статистический анализ данных уровня радиации с использованием ГИС-технологии.

У роботі розглядаються дані радіаційного стану території центральної частини м. Дніпrodзержинська. Проведено статистичний аналіз даних рівня радіації із застосуванням ГІС-технології.

The article consideration to data radiation state of territories of the central part of Dneprodzerzhinsk. The statistical analysis of database and maps of territories are created" with using the GIS technology.

Дана робота є частиною систематичного дослідження радіаційного фону селітебної території міста Дніпдродзержинськ із застосуванням ГІС-технології

[1,2]. Робота у середовищі геоінформаційної системи ArcGIS-9 надає можливості керування географічною інформацією, її аналізу й відображення [3].

У результаті проведення радіоекологічного моніторингу територій житлових масивів міста створено базу даних для тематичного шару «Радіація» у геоінформаційній системі міста Дніпродзержинськ. Статистичний аналіз результатів вимірювань значень щільності потоку випромінювань виявить середнє значення радіаційного фону у кожному районі міста, а також можливі локальні перевищення природного рівня радіації.

За результатами дослідження радіаційного фону території центральної частини міста одержано великий масив даних (581 замір на площі 170га). Наступним етапом було проведення статистичного аналізу цих даних. Інструменти дослідницького аналізу просторових даних дозволяють одержати більш повне подання про структуру даних і особливості їхнього розподілу, виявити глобальні й локальні викиди.

Дані замірів γ -фону району центральної частини міста були градуйовані по 5-ти категоріях: 1 категорія – 0,06-0,09 мкЗв/год; 2 категорія – 0,09-0,11 мкЗв/год; 3 категорія – 0,11-0,13 мкЗв/год; 4 категорія – 0,13-0,16 мкЗв/год; 5 категорія – 0,16-0,22 мкЗв/год. Відповідна градація збільшення γ -випромінювання візуалізується збільшенням діаметра точок (рис.1).

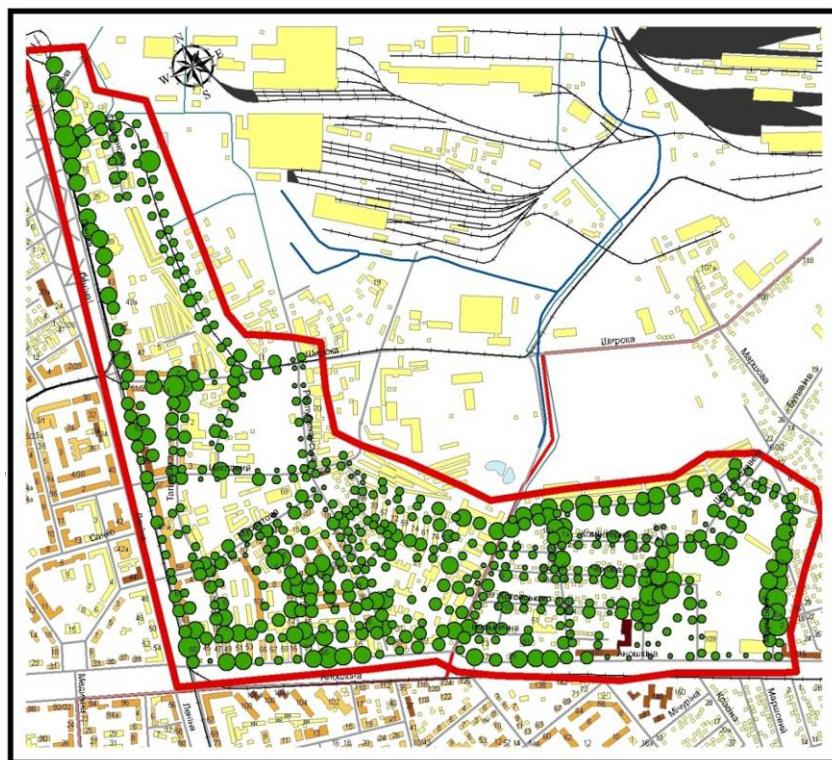


Рис. 1. Карта градуйованих значень γ -фону району центральної частини м. Дніпродзержинська

Для статистичної обробки даних використано допоміжний модуль ArcGIS Geostatistical Analyst – побудова гістограми. Інструмент гістограма дає одномірний (по одній змінній) опис даних, який показує щільність розподілу для набору даних та підраховує сумарну статистику. Щільність розподілу [4] –

це стовпчаста діаграма, що показує наскільки часто досліджувані дані попадають у той або інший інтервал. Модальний клас відповідає значенням ознаки, що зустрічаються найбільш часто. На побудованій гістограмі розподілу дат γ -фону (рис. 2) видно, що середнє значення радіаційного фону території району досліджень складає $0,12 \pm 0,02$ мкЗв/год, мінімальне значення γ -фону складає 0,06 мкЗв/год, максимальне – 0,22 мкЗв/год.

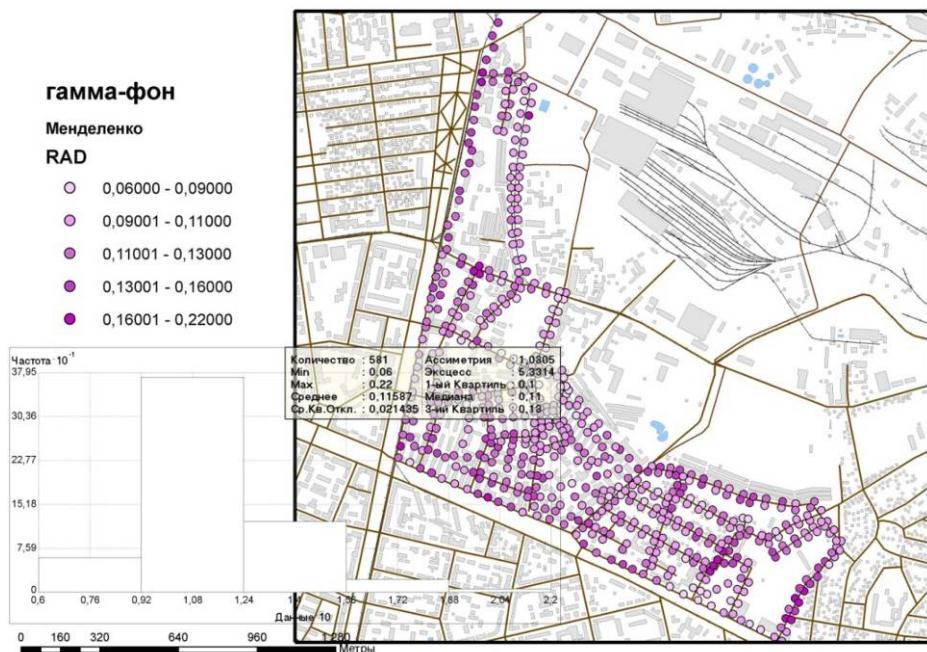


Рис. 2. Гістограма розподілу дат γ -фону у центральному районі міста

Точкових джерел з підвищеним радіаційним фоном не виявлено. Радіаційний стан за γ -випромінюванням у районі досліджень відповідає вимогам радіаційної безпеки.

Модуль ArcGIS Geostatistical Analyst надає інструменти геостатистики для аналізу й картування безупинно розподілених дат і побудови поверхонь на їхній основі. Наступним етапом аналізу даних є використання інструменту Аналіз тренду. Він допомагає у визначенні глобального тренду (напрямку, тенденції) даних. Інструмент дозволяє побачити дані вимірювань гамма-фону у тривимірному зображенні (рисунок 3). На такій карті координати x , у прив'язані до місцевості (географічна прив'язка об'єкту), а координата z – відповідає значенню величин γ -випромінювання в кожній точці контролю.

Існує дві основні групи методів інтерполяції: детерміністські та геостатистичні. Детерміністські методи інтерполяції будуєть поверхні за опорними точками і базуються або на ступеню схожості точок вибірки (метод зважених відстаней), або на ступеню згладжування [5]. Геостатистичні методи інтерполяції, такі як кригінг, використовують статистичні властивості опорних точок. Метод зважених відстаней використовує для розрахунку значень лише опорні точки, що розташовані у межах шуканої, та відносяться лише до ділянок території, яка досліджується. Інтерполяція за методом зважених відстаней використовує при-

пущення, що об'єкти, які розташовані ближче один до одного в більшому ступеню схожі, ніж віддалені один від одного.

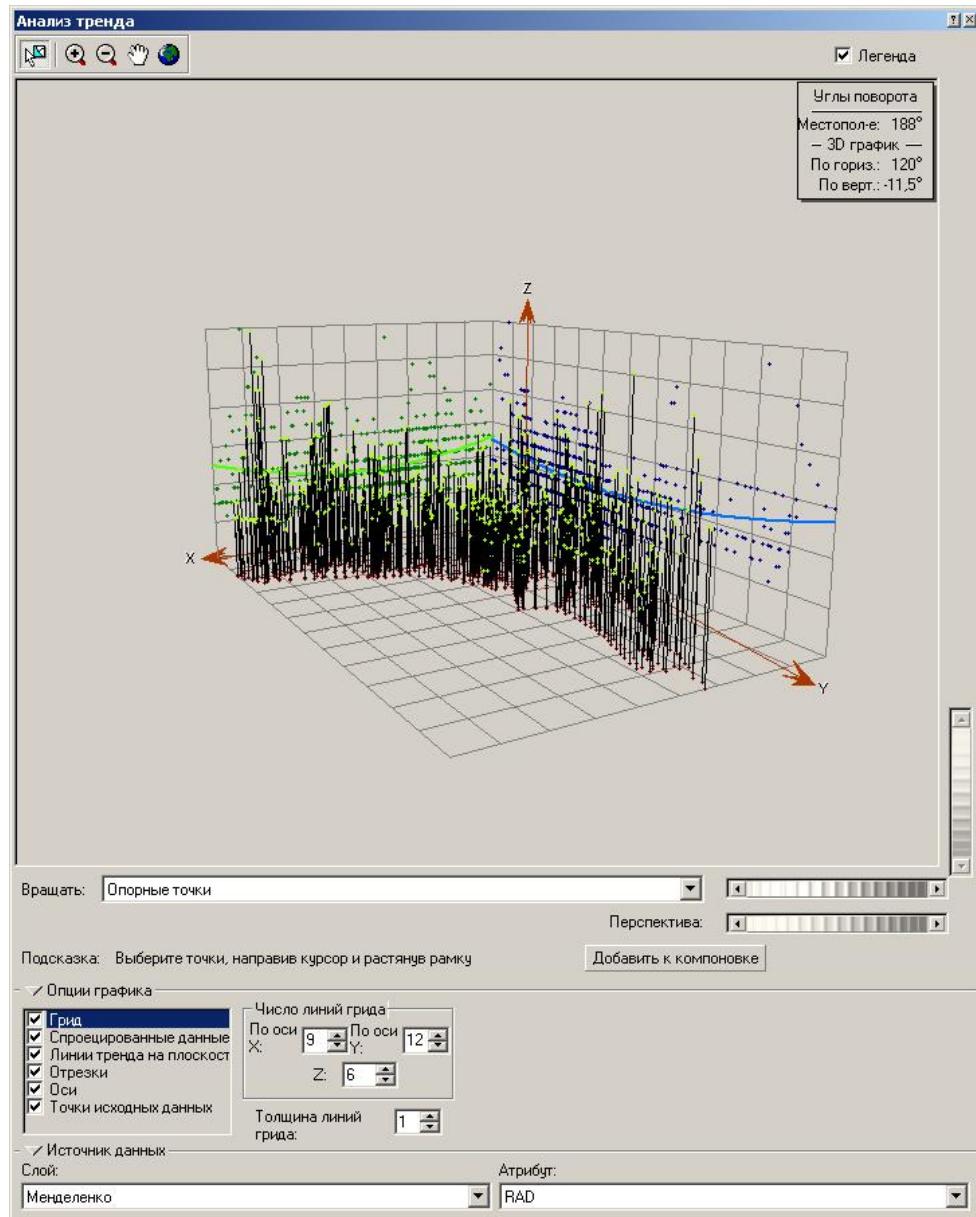


Рис. 3. Побудова 3D-варіанту розподілу дат γ -фону

Таким чином метод припускає, що кожна опорна точка здійснює локальний вплив, який зменшується з відстанню. Точкам, що знаходяться у межах шуканої, присвоюються вагові значення більші за віддалені від неї точки. Результатом обробки даних вимірювань методом зважених відстаней є карта інтерполованих значень радіаційного фону території, яка наведена на рис. 4.

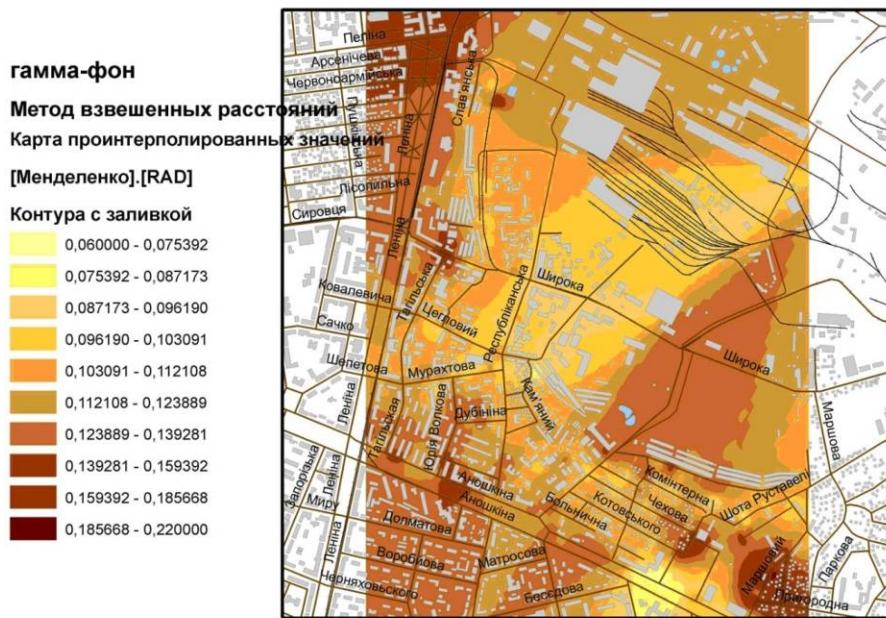


Рис. 4. Карта інтерпольованих значень γ -фону (метод зважених відстаней)

Для подальшого аналізу даних використано метод кригінга (рис. 5). Він аналогічний методу зважених відстаней у тому, що опорним точкам у межах шуканої точки, для отримання її значень, присвоюється вага. Однак вага основана не лише на відстані між вимірювими точками та шуканою точкою, але і на розподіленні опорних точок у просторі в цілому.

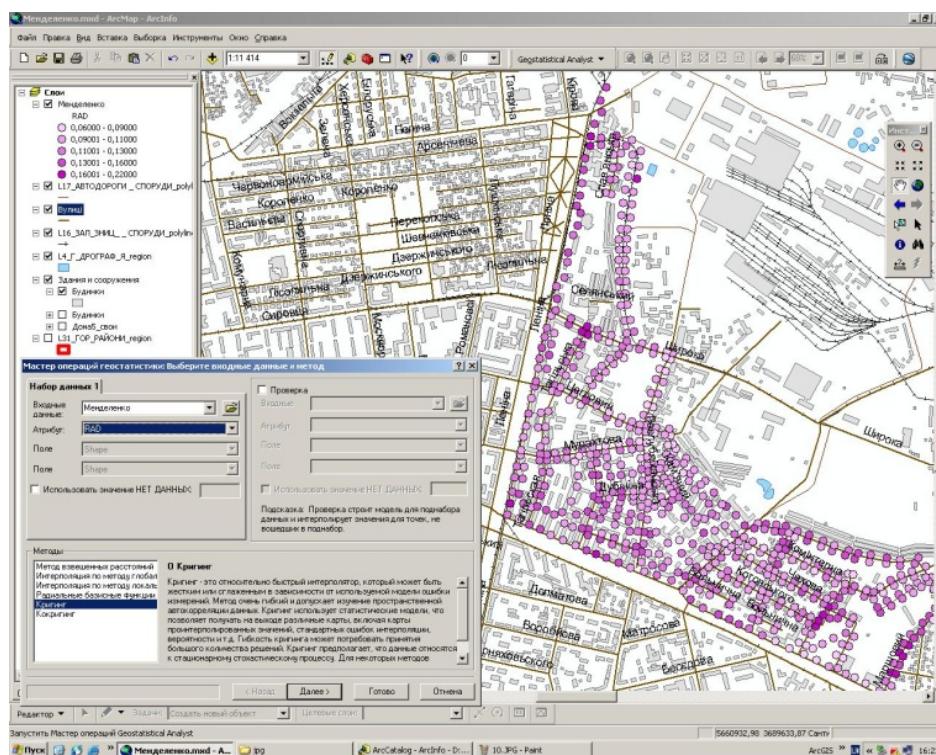


Рис. 5. Вид вікна програми при виборі методу кригінга в Майстрі операцій геостатистики Geostatistical Analyst

Метод кригінга заснований на математичних і статистичних моделях. Під час кригінга інтерполяція проводиться з певною вірогідністю, тобто значення не можуть бути отримані за статистичною моделлю абсолютно точно. У точці, де не проводилися заміри, можна лише спробувати проінтерполювати її значення, і при цьому оцінити помилку інтерполяції. Для моделювання поверхні території, що досліджується, обрана модель Гаусса з пошуком чотирьох сусідів у межах шуканої точки [5]. Карта проінтерпольованих значень радіаційного фону території дослідження методом ординарного кригінга наведена на рис. 6.

Таким чином, в роботі на базі опорних точок вимірювальних радіації було створено інтерпольовані карти γ -фону із застосуванням методів геостатистичної обробки даних: метод зважених відстаней та метод ординарного кригінга (модель Гаусса).

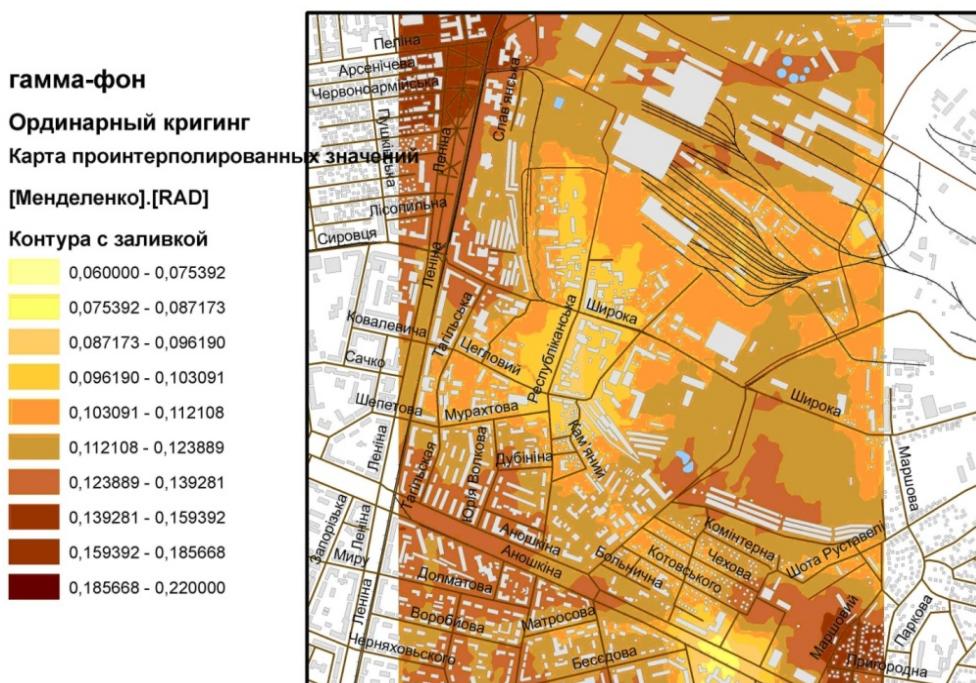


Рис. 6. Карта інтерпольованих значень γ -фону
(метод ординарного кригінга)

Із використанням програми ArcMap створено карту радіаційного стану району центральної частини м. Дніпродзержинська за γ -випромінюванням. Для візуалізації замірів дані були градуйовані за категоріями зі збільшенням діаметра точок у відповідності зі збільшенням значення рівню радіаційного фону. Методом побудови гістограм у Geostatistical Analyst проведено статистичну обробку даних дат γ -фону і визначено середнє значення рівню γ -фону території, яке складає $0,12 \pm 0,02$ мкЗв/год. За допомогою методів геостатистичної обробки: метод зважених відстаней, метод ординарного кригінга – побудовано карти поверхонь інтерпольованих значень γ -фону.

Список літератури

1. А.В.Галата, О.О.Карпенко, О.М.Швець. Дослідження радіаційного стану м. Дніпродзержинська із застосуванням ГІС-технології // Збірник наукових праць ДДТУ.- 2009. - Вип.3 (13). – С. 146-153.
 2. А.В.Галата, О.О.Карпенко, О.В.Дзюба Контроль радіаційного фону рекреаційних зон лівобережжя (Голубе озеро і прибережна зона водосховища). // Збірник наукових праць ДДТУ.- 2009. - Вип.3 (13). – С. 153 -156.
 3. ArcGis 9, ArcMap. Руководство пользователя. Пер.с англ.– М.: Дата +, 2001.- 546 с.
 4. Лакин В.М. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов. – 4-е изд, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1990. - 352с.
- Демерс, Майкл Н. Географические информационные системы. Основы.: Пер. с англ. – М.: Дата +, 1999.- 489 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бойком В.О.
Надійшла до редакції 22.10.10*

УДК 622.271.3

© Б.Е. Собко, А.М. Маевский

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВСКРЫШНЫХ КОМПЛЕКСОВ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА СЕБЕСТОИМОСТЬ РАЗРАБОТКИ ГОРНЫХ ПОРОД

Проведено исследование прогнозной оценки производительности вскрышных комплексов и ее влияние на себестоимость разработки горных пород для условий разработки Малышевского месторождения титано-циркониевых руд Вольногорского ГМК.

Проведено дослідження прогнозної оцінки продуктивності розкривних комплексів та її вплив на собівартість розробки гірничих порід для умов розробки Малишевського родовища титано-цирконієвих руд Вільногірського ГМК.

Research of prognosis estimation of the productivity of stripping complexes and its influence is conducted on the prime price of development of mountain breeds for the terms of development of Malyshevskogo of deposit of titano-zirconia ores of Vol'nogorskogo GMK.

Производительность карьерных выемочно-погрузочных машин является одним из важнейших технико-экономических параметров открытых горных работ. Она определяет требуемый парк машин, влияет на производительность транспортного оборудования, и соответственно на затраты всего горного производства.

Поэтому исследование прогнозной оценки производительности вскрышных комплексов и ее влияние на себестоимость разработки горных пород является актуальной задачей.

Решение задачи прогнозной оценки эксплуатационной производительности вскрышных комплексов: роторных экскаваторов, работающих с ленточными конвейерами (ЭР+л.к.) и одноковшовых экскаваторов, работающих в комплексе с автосамосвалами (ЭКГ+а/лы) было проведено на примере карьера №7 «Юг» Вольногорского ГМК. Оценка эксплуатационной производительности вскрышных комплексов вызвана, также, необходимостью выбора рационального варианта развития горных работ на Восточном участке Малышевского ме-

сторождения (в районе с. Петровка и балки Сербина) в связи со значительным сокращением длины фронта добычных и, соответственно, вскрышных работ (на 300 м) на указанном участке. Сокращение длины фронта вскрышных работ, как показывают результаты научных исследований и практика открытых горных работ, приводит к существенному уменьшению производительности, прежде всего, роторных вскрышных комплексов.

Ранее выполненными в Национальном горном университете [1] исследованиями установлено, что, применительно к горно-технологическим условиям работы вскрышного комплекса НКМЗ (ЭРШР-1600+л.к.) на передовом вскрышном уступе карьера №7 «Юг» сокращение длины фронта работ на 100 м приводит к снижению годовой производительности комплекса на 100 тыс. м³.

Кроме того, на производительность роторного комплекса НКМЗ влияет и изменение (усложнение) конфигурации карьерного поля на рассматриваемом участке, что приведет к нарушению прямолинейности расположения торцевого соединительного конвейера.

Следует отметить, что наибольшие годовые объемы вскрышных работ выполняются на карьере №7 «Юг» роторным комплексом, поэтому необходимо установить диапазон величин фактически достигнутой им производительности. Это позволит проверить возможность обеспечения требуемых годовых подвижаний фронта работ.

В табл. 1 приведены статистические данные о фактической производительности экскаваторного парка горнотранспортного производства Вольногорского ГМК за период 2009-2010 гг. Из приведенных данных в табл. 1 видно, что в 2009 г. производительность вскрышных комплексов НКМЗ и ТК-2 (экскаватор КУ-800+л.к.) составила 3,3 и 4,2 млн. м³/год соответственно, а комплексов ЭКГ+а/лы – 0,83 и 2,7 соответственно карьеры «Север» и «Юг».

Таблица 1

Фактическая производительность экскаваторного парка в 2009-2010 гг.

Наимено- вание	2009 год			7 мес. 2010 год		
	факт. объем горной мас- сы, тыс. м ³	чистое время ра- боты, ч	факт. произ- водитель- ность, м ³ /ч	факт. объем горной мас- сы, тыс. м ³	чистое время ра- боты, ч	факт. произ- водитель- ность, м ³ /ч
ЭКГ-8И №28	744,6	2645,5	281,5	247,2	949,0	260,5
ЭКГ-10 №32	830,1	2400,0	345,9	483,8	1496,5	323,3
ЭШ 6/45 №1	895,0	3602,5	248,4	483,4	2095,0	230,7
ЭШ 10/50 №2	1379,0	4310,5	319,9	858,6	2701,0	317,9
ЭШ 10/70 №5	869,3	3537,0	245,8	427,0	1953,0	218,6
Вскрышные комплексы						
НКМЗ	3297,0	1988,0	1658,5	2665,2	1304,0	2043,9
TK-2	4169,5	2520,0	1654,6	2747,7	1901,5	1445,0

Для установления взаимосвязи между себестоимости разработки 1 м³ вскрыши роторными комплексами $C_{\varphi p}$ и производительностью $Q_{\varphi p}$. выполнен корреляционный анализ, необходимый объем выборки для которого, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Статистические данные об изменении производительности вскрышных комплексов и себестоимости разработки 1 м³ вскрыши

№ п/п	месяц	ЭКГ+ а/лы		НКМЗ		ТК-2	
		$Q_{\text{экз.}}$, тыс. м ³	$C_{\text{экз.}}$, грн/м ³	$Q_{\varphi p.}$, тыс. м ³	$C_{\varphi p.}$, грн/м ³	$Q_{\varphi p.}$, тыс. м ³	$C_{\varphi p.}$, грн/м ³
1	январь	359,7*	10,21*	175,6	5,76	87,0	8,25
2	февраль	134,8	14,95	86,8	8,69	247,9	4,57
3	март	313,2	9,97	443,3	3,29	283,7	4,15
4	апрель	259,5	10,23	599,1	2,54	482,7	2,83
5	май	394,2	8,01	445,0	3,21	258,6	5,63
6	июнь	273,5	9,49	583,8	3,06	575,4	2,88
7	июль	336,0	7,36	337,0	3,30	812,4	1,94

Примечание: * – производительность комплексов ЭКГ+а/лы и себестоимости вскрыши даны в целом по карьерам «Юг» и «Север»

Корреляционная взаимосвязь между стоимостью разработки 1 м³ вскрыши и производительностью вскрышных комплексов оборудования устанавливалась по известному методу статистического анализа, который позволяет упростить обработку двухмерной статистической совокупности, при небольшом объеме выборки. Схема вычислений заключается в последовательном вычислении средних значений исследуемых величин $C_s = \bar{y}$ и $Q_s = \bar{x}$, среднеквадратичных отклонений, коэффициентов корреляции, коэффициентов регрессии и среднеквадратичных ошибок параметров. При установлении корреляционной зависимости $C_{\varphi p} = f(Q_{\varphi p})$ для комплекса НКМЗ схема вычислений заключается в следующем. Представляется таблица исследуемых и расчетных величин $x = Q_{\varphi p}$; x^2 ; $y = C_{\varphi p}$; y^2 и xy (табл. 3).

Таблица 3
К установлению уравнения регрессии (комплекс НКМЗ)

№ п/п	$x (Q_s)$	x^2	$y(C_s)$	y^2	xy
1	175,6	30835,4	5,76	33,18	1011,5
2	86,8	7534,2	8,69	75,52	754,3
3	443,3	196514,9	3,29	10,82	1458,5
4	599,1	358920,8	2,54	6,45	1521,7
5	445,0	198025,0	3,21	10,3	1428,5
6	583,8	340822,4	3,06	9,36	1786,4
7	337,0	113569,0	3,30	10,89	1112,1
Сумма	2670,6	1246221,1	29,85	156,82	9073,0

$$\bar{x} = \frac{2670,6}{7} = 381,5; \quad \bar{y} = \frac{29,85}{7} = 4,26; \quad \nu_{20} = \frac{1246221,1}{7} = 178032,0; \quad \nu_{02} = \frac{156,82}{7} = 22,4$$

$$\mu_{20} = 178032,0 - 381,5 = 32490,0; \quad \mu_{02} = 22,4 - 4,26 = 4,25;$$

$$\sigma_x = \sqrt{32490} = 180,25; \quad \sigma_y = \sqrt{4,25} = 2,06;$$

$$\nu_{11} = \frac{9073}{7} = 1296; \quad \mu_{20} = 1296,0 - 1625,0 = -329,0$$

$$\sigma_x \sigma_y = 180,25 \cdot 2,06 = 371,3; \quad r = \frac{-329,0}{371,3} = -0,886; \quad r^2 = 0,785; \quad 1 - r^2 = 0,215;$$

$$\sigma_r = \frac{0,215}{\sqrt{7}} = 0,081; \quad r = -0,886 \pm 0,081.$$

Таким образом, полученное значение коэффициента корреляции, равное примерно, ± 1 означает, что уравнение регрессии дает точные значения y и x , т.е. $C_{\text{зп}}$ и $Q_{\text{зп}}$, а это означает, что мы имеем линейную функциональную зависимость.

Установим коэффициенты регрессии и ее уравнение

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_y} = \frac{2,06}{180,25} = 0,01143; \quad \frac{\sigma_y}{\sigma_x} = \frac{180,25}{2,06} = 87,5$$

После этого для коэффициентов регрессии получаем значения:

$$\rho_{yx} = -0,886 \cdot 0,01143 = -0,01;$$

$$\rho_{xy} = -0,886 \cdot 87,5 = -77,5;$$

Уравнение регрессии имеет вид

$$\bar{y}_x - 4,26 = -0,01(x - 381,5), \quad \bar{y}_x = 4,26 - 0,01x + 3,82, \quad \bar{y}_x = 8,08 - 0,01x.$$

Таким образом, уравнение регрессии для комплекса НКМЗ может быть представлено как

$$C_{\text{зп}} = 8,08 - 0,01 \cdot Q_{\text{зп}}, \text{ грн}/\text{м}^3,$$

где $Q_{\text{зп}}$ – производительность роторного комплекса, тыс. $\text{м}^3/\text{мес}$.

Корреляционное поле и эмпирическая линия регрессии приведены на рис. 1.

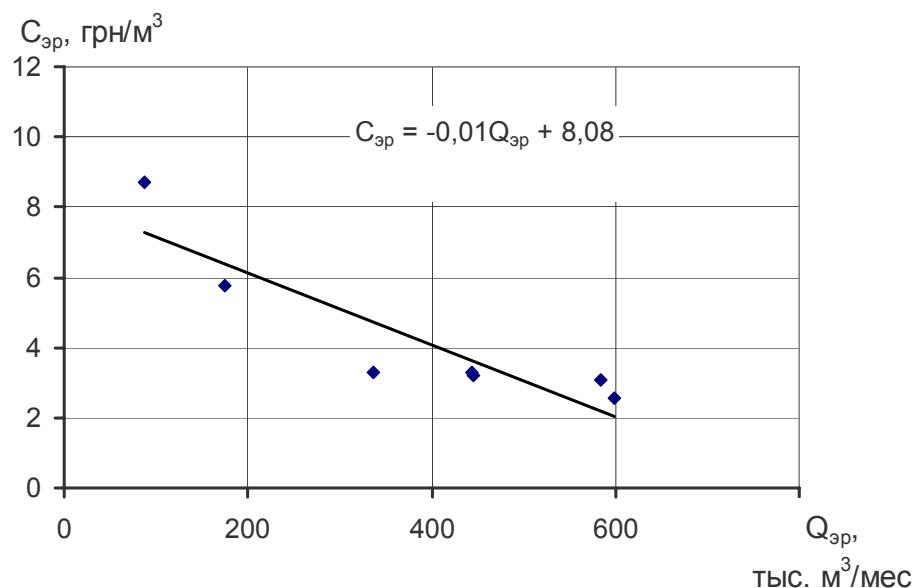


Рис.1. Эмпирическая зависимость себестоимости разработки 1 м^3 вскрыши от производительности роторного комплекса НКМЗ (карьер «ЮГ»)

По аналогичной схеме вычислений получены корреляционные зависимости $C = f(Q)$ для комплексов ТК-2 (рис. 2) и ЭКГ+а/лы (рис. 3).

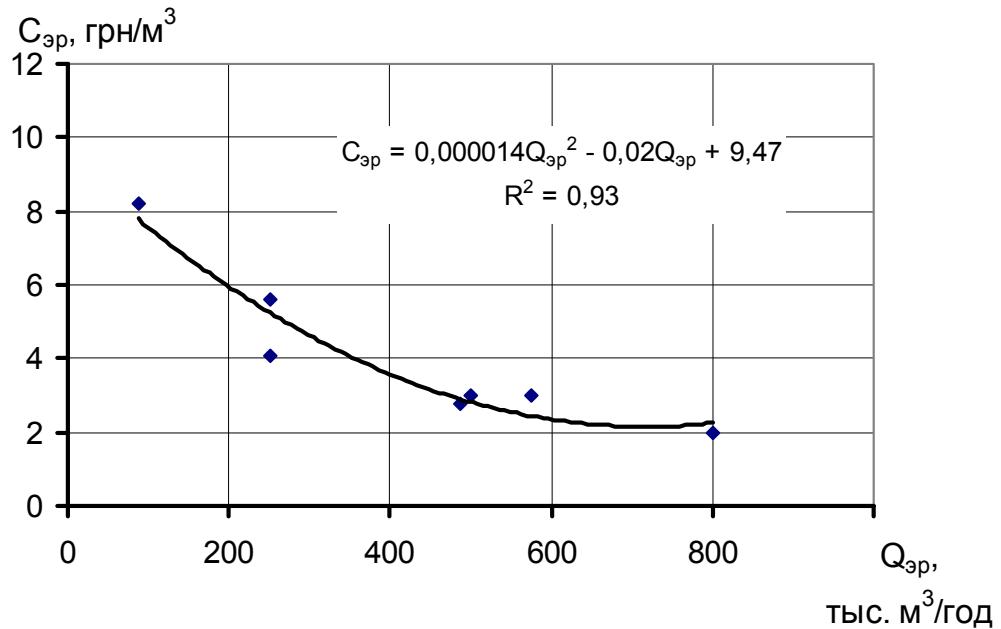


Рис.2. Эмпирическая зависимость себестоимости разработки 1 м³ вскрыши от производительности роторного комплекса ТК-2 (карьер «Север»)

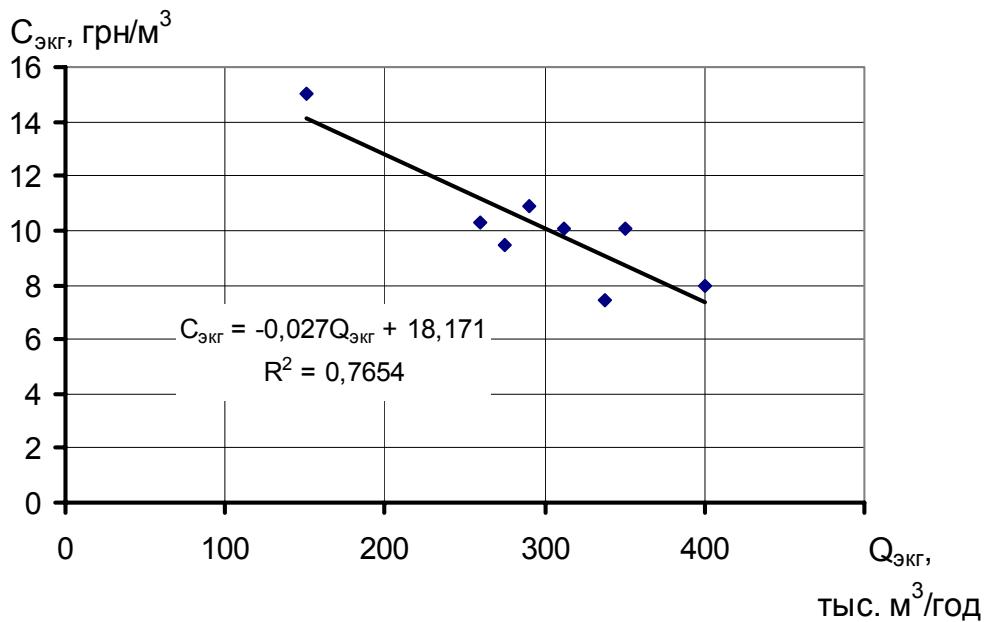


Рис.3. Эмпирическая зависимость себестоимости разработки 1 м³ вскрыши от производительности вскрышного комплекса ЭКГ+автосамосвалы для карьера № 7 «Север» и «Юг»

Результаты определения коэффициента корреляции между $C_{\text{ЭР}}$ и $Q_{\text{ЭР}}$ показывает, что уравнение регрессии можно пользоваться для вычисления значений одной величины по значениям другой с небольшой средней квадратичной ошибкой.

Полученные эмпирические зависимости себестоимости разработки 1 м³ вскрыши от производительности выемочно-транспортного оборудования можно использовать при расчете эксплуатационных затрат на проведение вскрышных работ роторными комплексами и комплексами с использованием карьерных экскаваторов (прямая лопата) и автосамосвалов.

Список литературы

1.Наукове обґрунтування та дослідження стратегічних напрямків підвищення ефективності відкритої розробки родовищ України: [отчет о НИР (заключительный)/ НГУ; рук. И.Л. Гуменик]. – Днепропетровск, 2007.- 173 с. - № ГР 0106U001378.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дрижсенком А.Ю.
Надійшла до редакції 05.11.10*

УДК 531.539.4:622.673

© В.А. Заиченко

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ШАХТНОГО УРАВНОВЕШИВАЮЩЕГО КАНАТА НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ РЕЗИНОВОЙ МАТРИЦЫ НА БАРАБАНЕ ПРИЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА

Приведены результаты исследования напряжений в резине уравновешивающего плоского резинотросового каната на барабане прицепного устройства методом конечных элементов с учетом физической нелинейности резины.

Наведено результати досліджень напружень в гумі зрівноважувального гумотросового канату на барабані причіпного пристрою методом кінцевих елементів з урахуванням фізичної нелінійності гуми.

Results of the investigation of the stress in rubber of balancing steel-rubber rope on drum towed device by method of final elements with provision for physical nonlinear property of rubber are considered.

Резинотросовые уравновешивающие канаты (РТК) для шахтных много-канатных установок выпускают два производителя в мире – Австро-польская фирма SAG (Польша) и ОАО «Криворожский железорудный комбинат» (КЖРК) (Украина). На польских подъемных установках уравновешивающие канаты прикрепляют к подъемным сосудам с помощью клиновых прицепных устройств, а на Украине и в странах СНГ – с помощью прицепных барабанов, как показано в разрезе на рис.1 на рис.2.

В Украине РТК выпускают по техническим условиям ТУ У 28.7 - 00191307-020-2002 на основе 2,4,6,8 оцинкованных тросов диаметром 16,5 – 23,0 мм 11 типоразмеров. В попечном сечении размер $H=35$ мм, а ра-

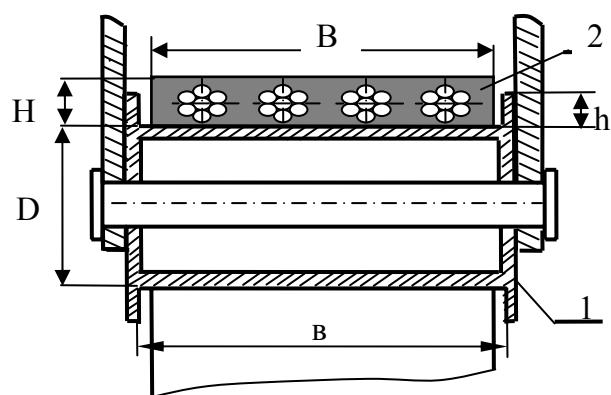


Рис.1. Расположение плоского резинотросового каната на барабане прицепного устройства под подъемным сосудом: 1- барабан; 2- резинотросовый канат

змер В изменяется в пределах 109 – 219 мм в зависимости от числа армирующих тросов и погонной массы. Типоразмерный ряд канатов соответствует следующим массам погонного метра: 8,4; 10,5; 13,0; 15,0; 16,8 кг. Барабаны прицепных устройств, спроектированные институтом «Кривбасспроект», на всех подъемных сосудах одного диаметра $D=325$ мм, длина опорной поверхности барабана $b=250$ мм, что больше ширины канатов В и между боковыми поверхностями РТК и ребордами барабана имеются зазоры (рис.1).

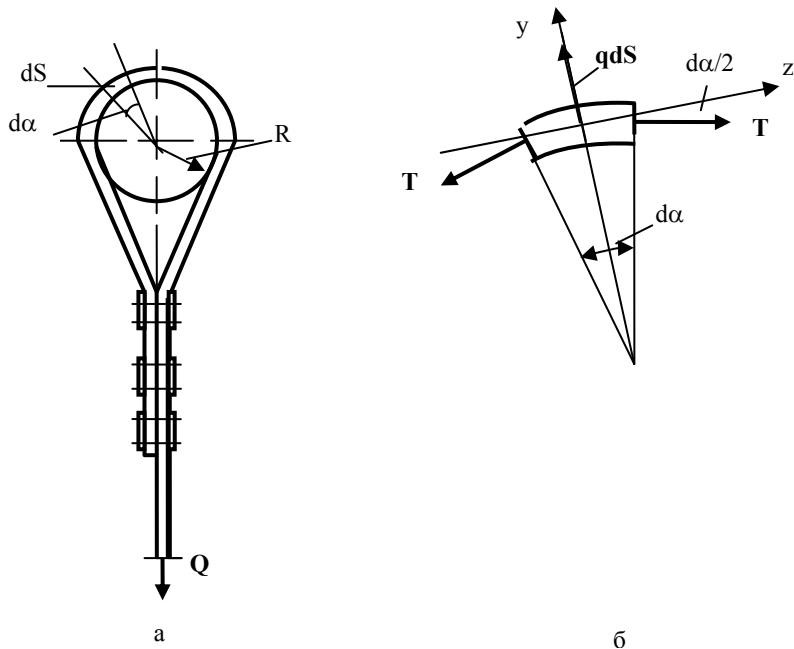


Рис. 2. Схема крепления плоского резинотросового уравновешивающего каната на прицепном барабане: а- схема крепления; б- расчетная схема сил, действующих на бесконечно малый элемент РТК

Расчетный и подтвержденный эксплуатацией срок службы РТК более 10 лет. Завулканизированные в резину оцикованные тросы належно защищены от коррозии, резиновая матрица практически полностью ограничивает деформации кручения тросов и их проволоки нагружены практически равномерно, что и обеспечивает длительный срок их службы. Однако в эксплуатации выявлен и существенный недостаток – при большой длине каната (большом весе РТК) тросы передавливают резину на барабане прицепного устройства. Оголение тросов может привести к коррозии и снижению срока службы. Потому нами выполнено исследование напряженно-деформированного состояния резиновой матрицы РТК на барабане прицепного устройства. Как показывает обзор литературных источников, такое исследование выполняется впервые.

Сформулируем постановку задачи. Как показано на рис.2, вес отвеса уравновешивающего резинотросового каната Q с учетом динамической составляющей распределяется на две ветви каната, огибающих барабан радиуса R , усилие в каждой ветви $T \approx Q/2$. Из условия равновесия элемента РТК длиной dS на барабане (рис. 2, б) получаем величину интенсивности распределенной нагрузки давления единицы длины РТК на барабан $q = T/R$. Это давление через n армирующих тросов передается резиновой матрице. Рассматривая равновесие элемента РТК конечной длины Δ (рис. 3) на барабане приходим к плоской задаче теории упругости: к плоскому резинотросовому элементу РТК толщиной Δ с определенными граничными условиями (у барабана возможно наличие реборд по краям РТК) приложены сосредоточенные силы P в центрах тяжести тросовых элементов в плоскости элемента РТК. Величины этих сил определяются из следующей зависимости

$$P = \frac{Q}{2Rn} \Delta. \quad (1)$$

Как показали наши исследования и исследования других авторов[1] механические характеристики резины при испытаниях на сжатие можно принимать линейными только в пределах деформаций $0 \leq \varepsilon \leq 0,2$. В исследованиях Отраслевой лаборатории «Прикладные методы расчета резино-технических изделий» при Рижском политехническом институте при аналитических расчетах

принималось, что характеристики резины линейные в пределах до 50% деформациях, чтобы хотя бы приближенно рассчитать напряженно-деформированное состояние изделий из резины при больших деформаций [2].

Поскольку аналитические исследования

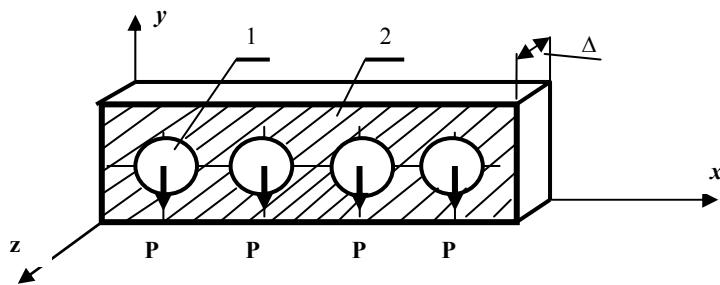


Рис. 3. Расчетная схема для исследования НДС РТК на барабане: 1- армирующий трос; 2- резиновая матрица РТК

НДС резиновой матрицы РТК при значительных деформациях с учетом указанной физической нелинейности в настоящее время невозможны, исследование выполнялось методом конечных элементов с использованием программы MSC/NASTRAN [3].

Исходные данные для расчетов: трос моделировался стальным многоугольным стержнем с модулем упругости $E=2,1 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона $\nu=0,3$. Для резины $\nu=0,49$, зависимость $\varepsilon(\sigma)$ принималась линейной в области растягивающих деформаций и существенно нелинейной в области сжатия (рис. 4), тип резины РМЗ-2, применяемой для изготовления РТК.

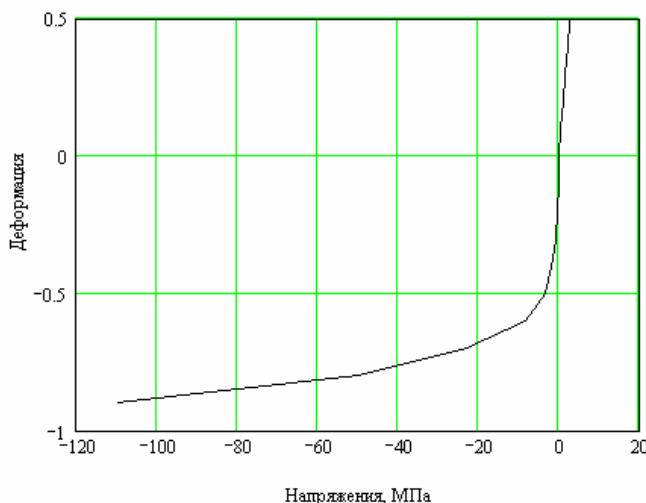


Рис. 4. Нелинейная механическая характеристика резины РМЗ-2

В нашей работе [3] было показано, что по краям РТК на прицепном барабане целесообразно делать реборды по высоте равные половине толщины РТК для ограничения горизонтальных деформаций резиновой матрицы под крайни-

ми тросами и выравнивания напряжений под всеми тросами по ширине РТК. Полагаем, что такие реборды будут установлены на всех прицепных барабанах, поэтому настоящее исследование влияния толщины резины под тросом на напряженно-деформированное состояние резиновой матрицы выполняется только для промежуточного троса РТК.

Рассматриваются варианты, когда толщина резины под тросом h_1 равна 5, 10, 15 мм, то есть составляет 0,25d, 0,5d, 0,75d (рис. 5). Исследуемый элемент РТК заштрихован на рис. 5.

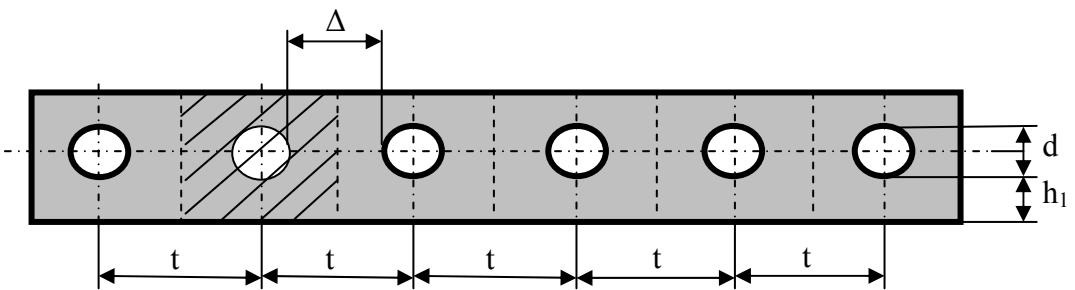


Рис. 5. Поперечное сечение РТК

На рис. 6 представлена конечно-элементная модель участка РТК вокруг промежуточного армирующего троса. По нижней кромке участки резины считаются жестко защемленными, а по боковым граням в узлах наложены связи, ограничивающие для средних тросов только горизонтальные перемещения (в экспериментальных исследованиях на образцах РТК проведенные краской вертикальные прямые линии не искривлялись при нагружении).

Нагрузка в виде сосредоточенной силы Р на рассматриваемый элемент РТК от натяжения троса Т прикладывалась в центре тяжести троса и вычислялась по формуле (1). Толщина элемента РТК принималась в расчете равной 2 мм. Величина силы Р=400 Н.

В процессе расчета исследовались величины максимальных значений эквивалентных напряжений в резиновой матрице, вычисленные по гипотезе энергии формоизменения Мизеса [4] для плоской задачи

$$\sigma_e = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + \sigma_y^2 + \sigma_x^2 + 6\tau_{xy}^2} \quad (2)$$

и максимальные значения касательных напряжений τ_{max} .

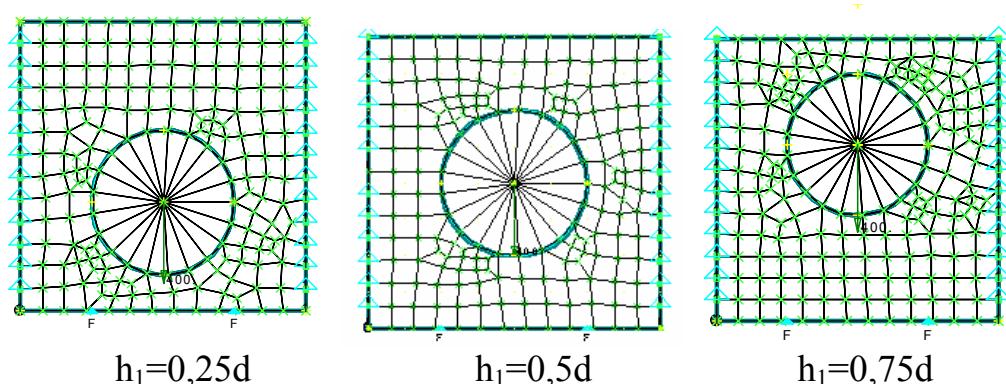


Рис. 6. Конечно-элементные модели участка РТК вокруг промежуточного армирующего троса

На рис. 7 показан характер деформирования поперечного сечения РТК вокруг среднего троса и распределения касательных напряжений в резине. Зона больших значений τ_{\max} располагается под 8 секторами на трофе, то есть охватывает нижнюю область под трофеом на дуге порядка 70° . В нижнем ряду К.Э., примыкающих непосредственно к поверхности барабана, касательные напряжения в резине ниже почти на 25%.

На рис. 8 показано распределение максимальных эквивалентных напряжений в резиновой матрице в рассматриваемых вариантах расчетов. Видно, что зона значительных по величине напряжений в резине по ширине не превышает $1,16d$.

На рис. 9 приведена итоговая информация о зависимости величин максимальных напряжений в резиновой матрице РТК под армирующими троесами от толщины слоя резины под троесом. Видно, что при толщине слоя резины $h_1 \geq d$ уровни максимальных эквивалентных и касательных напряжений в резине практически не изменяются.

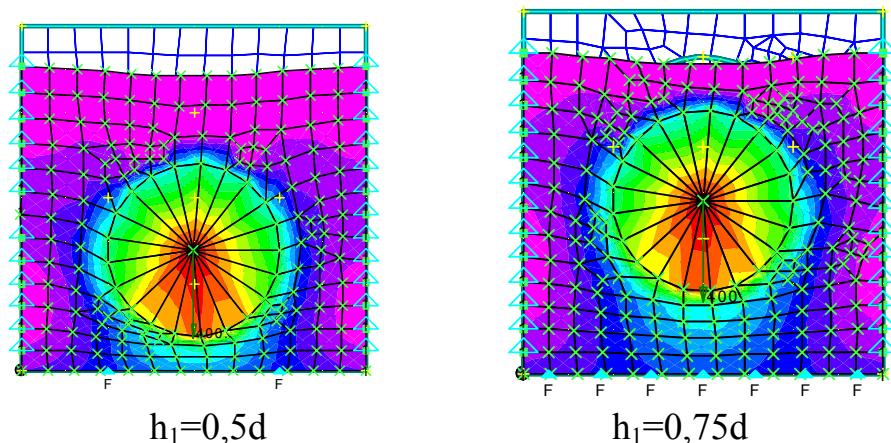


Рис. 7. Характер распределения максимальных касательных напряжений в резине вокруг промежуточного троса

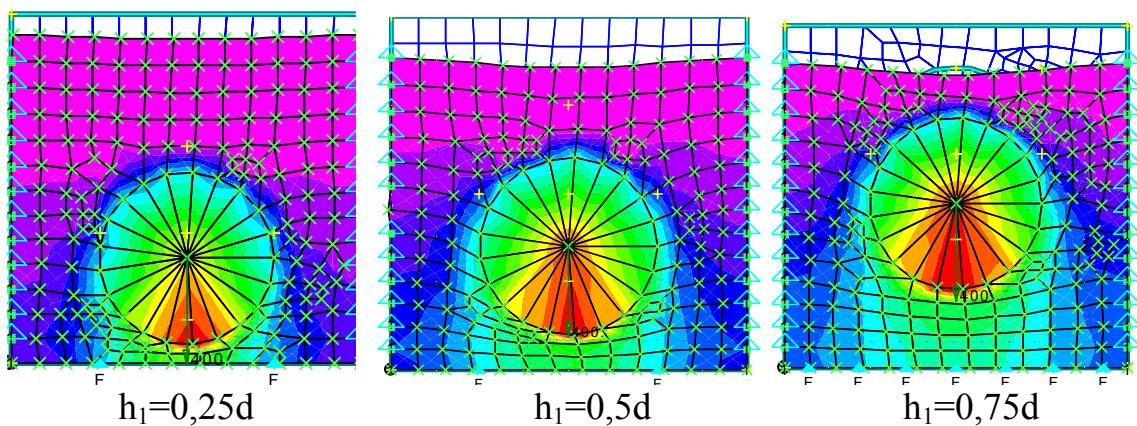


Рис. 8. Характер распределения максимальных эквивалентных напряжений в резиновой матрице

При толщине слоя резины меньше 0,5 диаметра троса уровни напряжений в резине существенно возрастают, так при $h_1=0,25d$ по сравнению с вариантом $h_1=0,5d$ уровни σ_e возрастают на 20%, а $\tau_{e \max}$ – на 10%. Таким образом, из су-

ществующего типоразмерного ряда РТК, у которых одинаковая толщина каната 35 мм с диаметрами армирующих тросов 15 - 28 мм целесообразно использовать канаты с меньшими диаметрами тросов.

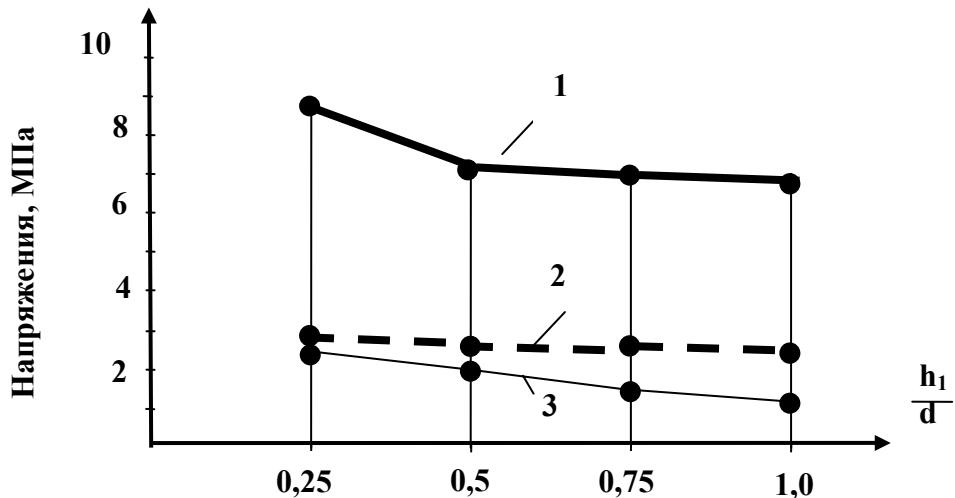


Рис. 9. Зависимость значений максимальных напряжений в резиновой матрице РТК под армирующими тросами от толщины слоя резины под тросом
 1- максимальные эквивалентные напряжения; 2- максимальные касательные напряжения; 3- уровень максимальных касательных напряжений в резине у поверхности барабана

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Зона значительных по величине эквивалентных и касательных напряжений располагается вокруг троса и имеет размер $(1,1-1,16)d$, где d – диаметр троса. Поэтому расстояния между армирующими тросами не должно быть меньше $0,2d$.
2. При толщине слоя резины под тросами $h_1 \geq d$ уровни максимальных эквивалентных и касательных напряжений в резине практически не изменяются. При толщине слоя резины меньше 0,5 диаметра троса уровни напряжений в резине существенно возрастают, так при $h_1=0,25d$ по сравнению с $h_1=0,5d$ уровни σ_e возрастают на 20%, а τ_{max} – на 10%.

Список литературы

1. Сакун М.Г., Кулик Н.Г., Губин М.Я. Результаты исследований и перспективы внедрения резинотросовых канатов на шахтном подъеме //Горный журнал.-1978. -№3. –С. 40-42.
2. Лавендель Э.Э. Расчет резино-технических изделий. М.: Машиностроение. -1976. -332 с.
3. Ропай В.А., Заиченко В.А. Напряженно-деформированное состояние резиновой матрицы уравновешивающего каната на барабане прицепного устройства шахтной подъемной установки.// Збірник наукових праць НГУ -2010. -№34, т.2.-С. 177-183.
4. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC/NASTRAN for Windows. М.: ДМК. -2003. - 446 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.
 Надійшла до редакції 02.11.10*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОТКРЫТОГО СПОСОБА РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В УКРАИНЕ

Выполнен анализ минерально-сырьевой базы Украины и тенденций развития открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых за период 2001-2009 г.г.

Виконано аналіз мінерально-сировинної бази України та тенденцій розвитку відкритого способу розробки родовищ корисних копалин за період 2001-2009 р.р.

Analysis of mineral raw material deposits in Ukraine and trends of surface mining development for the period of 2001-2009 is carried out.

Вступление. В настоящее время на территории государств СНГ эксплуатируется около 6500 карьеров, на которых выполняется более $\frac{3}{4}$ объема горных работ [1]. Столь бурный рост открытой разработки связан не только с целым рядом экономических, технологических, социальных ее преимуществ перед подземным способом, но вызван дальнейшим ростом потребности в полезных ископаемых и обусловлен достижениями научно-технического прогресса в области обогащения, горной техники, транспорта и т. д., что дало возможность освоить целый ряд сравнительно неглубоко залегающих месторождений, эксплуатация которых ранее была нецелесообразна или невозможна по различным причинам (бедное содержание, сложные горногеологические условия, удаленность и т. п.) [2].

Основными тенденциями открытого способа разработки в настоящее время являются:

- вовлечение в разработку месторождений со сложными инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями;
- дальнейшее увеличение единичной мощности карьеров;
- увеличение глубины карьеров;
- применение более производительных транспортных механизмов и внедрение прогрессивных технологий [3].

Формулировка целей. Украина принадлежит к одному из наиболее насыщенных минеральными ресурсами регионов мира. В Государственном кадастре недр на начало 2008 года насчитывалось 8658 месторождений 97-ми видов полезных ископаемых и почти 12000 их проявлений. По объему разведанных запасов угля, железных, марганцевых и титаноциркониевых руд, а также графита, каолина, калийных солей, серы, оgneупорных глин, облицовочного камня Украина принадлежит к одной из ведущих держав мира. В частности, запасы угля относительно мировых составляют 7,1%, железных руд - 15, марганцевых - 42,8, серы - 17,2% [4]. По запасам и добыче железных, марганцевых, титаноциркониевых руд, многих видов неметаллического сырья Украина занимает ведущее место среди стран СНГ, Европы и мира. Занимающая территорию 0,4 % мировой суши и имеющая население 0,8 % от населения земного шара, она в конце 80-х - начале 90-х годов обеспечивала около 5 % мирового объема добычи полезных ископаемых и продуктов их переработки [5].

Целью данной работы является анализ состояния минерально-сырьевой базы и темпов развития открытых горных работ в Украине, учитывая современные мировые тенденции потребления минеральных ресурсов и перспективы открытого способа разработки месторождений.

Анализ минерально-сырьевой базы Украины. В Украине насчитывается более 3 тысяч осваиваемых месторождений полезных ископаемых, на базе которых работает более двух тысяч горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Степень вовлечения разведанных запасов в разработку колеблется от 40 до 100%. Соотношение добычи по основным видам полезных ископаемых иллюстрирует рис. 1.

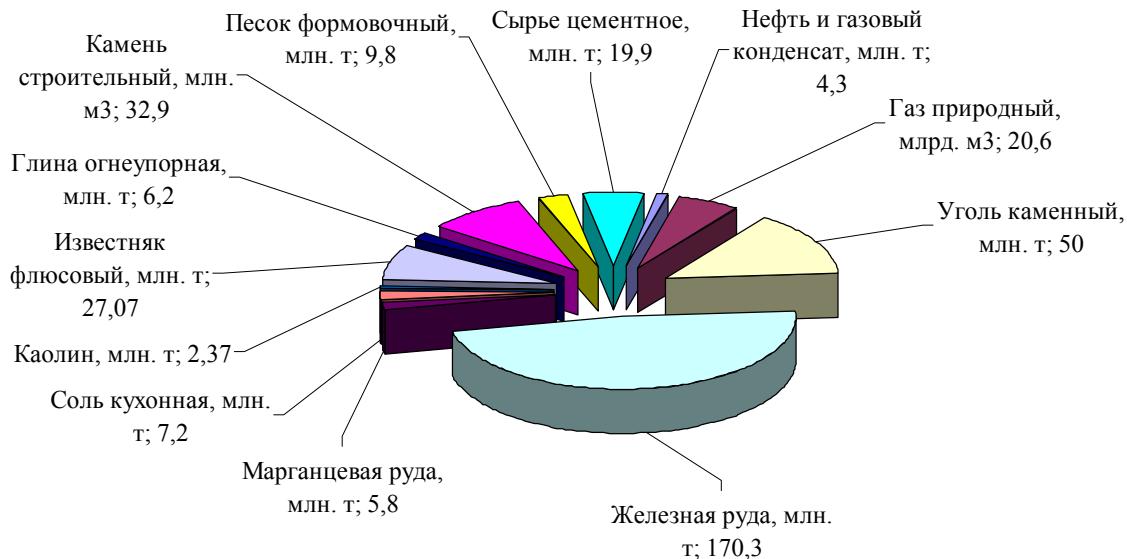


Рис. 1. Соотношение объемов добычи основных видов минерального сырья в 2008 г. (по данным ГНПП "Геоинформ Украины")

В объемах добычи доминируют металлические полезные ископаемые, нерудное сырье для металлургии и особенно полезные ископаемые для строительства, а также каменный уголь. По данным ГНПП "Геоинформ Украины" Минприроды Украины динамика добычи полезных ископаемых за период 1991-2009 годов по всем их группами имеет устойчивый восходящий тренд (рис. 2).

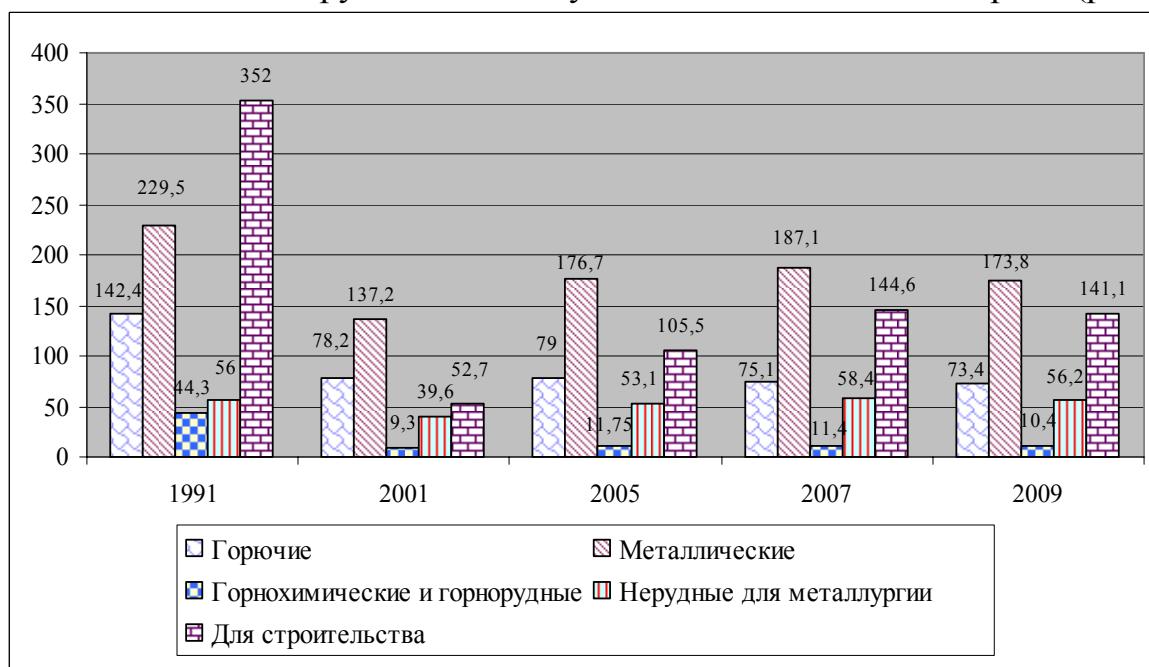


Рис. 2. Динамика добычи полезных ископаемых в Украине по функциональным группам, млн. т

Украина является крупным экспортером минерально-сырьевой продукции. На внешний рынок преимущественно поставляется железорудное сырье (в виде концентрата, агломерата и окатышей), марганцеворудная и флюсовая продукция. Значительные объемы экспорта приходятся также на титаноциркониевые концентраты, каменную соль, строительный камень, декоративно-облицовочные камни.

Большинство полезных ископаемых добывается в Украине в пределах нескольких главных горнопромышленных регионов - Донецкого, Криворожско-Никопольского, Прикарпатского. Интенсивное использование ресурсов недр, как в этих регионах, так и вне их приводит к постепенному истощению лучшей части запасов и осложнению горнотехнических условий разработки месторождений.

По данным геологической службы в Украине выявлены перспективные для освоения месторождения бурого угля, марганца, меди, свинца, цинка, золота, молибдена, ванадия, редкоземельных элементов и других видов полезных ископаемых. Прогнозируется подготовка на их базе инвестиционно привлекательных объектов недропользования [4].

На ближайшую перспективу в Украине основное приоритетное значение в развитии минерально-сырьевого комплекса Украины будут иметь:

- топливно-энергетические ресурсы;
- сырье для горно-металлургического комплекса, в первую очередь для действующих предприятий черной металлургии и развития качественной металлургии стали;
- сырье для горно-химического комплекса и сельского хозяйства;
- валютное минеральное сырье - драгоценные металлы и драгоценные камни.

Учитывая особенности геологического строения перспективных для освоения месторождений полезных ископаемых, разработка их целесообразна открытым способом.

Состояние и перспективы открытой разработки месторождений в Украине. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых осуществляется преимущественно на железорудных, марганцеворудных и флюсодобывающих предприятиях, представляющих основу горнопромышленного комплекса черной металлургии Украины. Состояние и технико-экономические показатели этого комплекса определяются его сырьевой базой и конъюнктурой внешнего и внутреннего рынков. Украина располагает крупными месторождениями железных, марганцевых руд, флюса и доломита и относится к небольшому числу стран, которые полностью обеспечивают свои металлургические предприятия и потребности экспорта в сырье для выплавки металла.

За последние годы структура горнопромышленного комплекса претерпела существенные изменения. В настоящее время горнопромышленный комплекс включает 10 предприятий различной формы собственности по добыче железной руды, 2 предприятия по добыче марганцевой руды и 4 предприятия по добыче флюсодержащего сырья.

Наиболее крупным объединением горнорудных предприятий является Государственная акционерная компания - ГАК «Укррудпром», которая включает

4 предприятия по добыче железных руд открытым способом и их переработке: ОАО «СевГОК», ОАО «ЦГОК», ОАО «ЮГОК», ОАО «ИнГОК». Кроме того, в состав горнопромышленного комплекса входят предприятия по добыче железных руд открытым способом - ОАО «Полтавский ГОК».

Марганцевую руду добывают открытым способом - ОАО «Орджоникидзевский ГОК», открытым и подземным способом - ОАО «Марганецкий ГОК».

Флюсодержащее сырье открытым способом добывают ОАО «Докучаевский ФДК», ОАО «Новотроицкое РУ», ОАО «Балаклавское РУ», ОАО «Комсомольское РУ».

Россыпные месторождения титано-циркониевых руд разрабатывают Вольногорский горно-металлургический комбинат (ВГМК), Иршанский горно-обогатительный комбинат (ИГОК) и Демуринский ГОК [6].

Железорудная отрасль Украины является доминирующей в структуре горно-промышленного комплекса Украины. В период максимального развития на долю этого сектора экономики приходилось 14% мирового и 43% производства товарной железной руды бывшего СССР. В период 1991-1999 г.г. объемы добычи резко снизились. Со снижением объемов добычи и производства одновременно произошло резкое ухудшение финансового состояния горнодобывающих предприятий. С 2000 г. наметился рост объемов железорудной продукции, улучшение ее качества и повышение технико-экономических показателей как результат комплексных мероприятий в рамках Национальной программы развития и реформирования горно-металлургического комплекса Украины до 2010 г. [7].

Железорудное сырье в Украине добывается как подземным, так и открытым способом. Роль того или другого на разных этапах истории кардинально менялись. Достаточно длительный период доминировал подземный способ, обеспечивающий добычу высококачественных руд на сравнительно небольшой глубине. Активизация открытого способа разработки была связана с необходимостью значительного увеличения объемов производства. С начала 70-х годов, когда эту задачу удалось успешно решить, и до настоящего времени, открытая разработка преобладает (рис. 3).

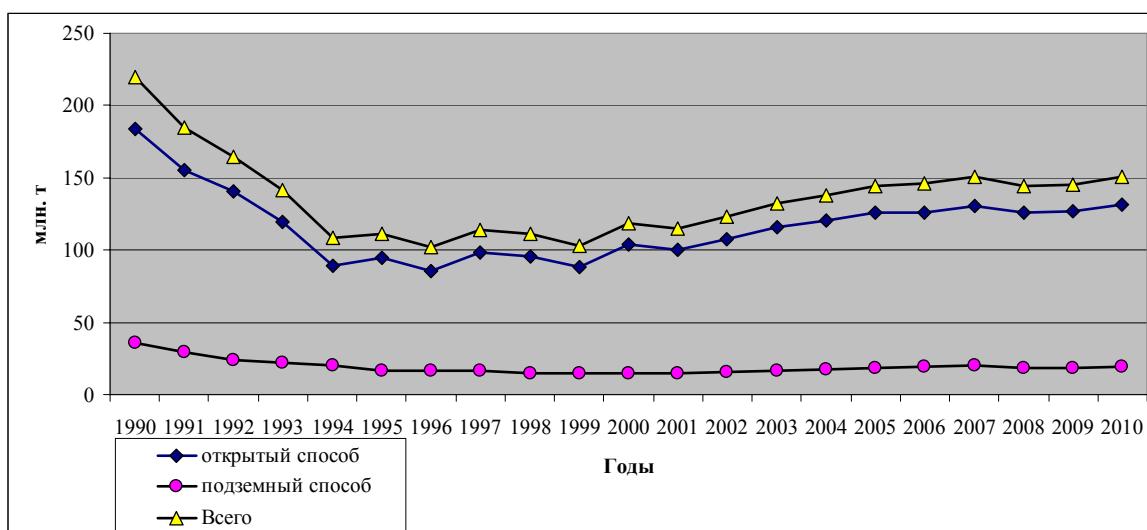


Рис. 3. Добыча сырой железной руды по способам разработки на предприятиях Украины [7]

В табл. 1 приведены основные производственные показатели работы железорудных комбинатов Украины. В целом динамика производительности железорудных предприятий за период 2000-2010 г.г. имеет тенденцию устойчивого развития, что детально продемонстрировано на рис. 4.

Таблица 1
Основные производственные показатели работы железорудных комбинатов Украины [8]

Показатели	Годы					
	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Добыто горной массы, тыс. м ³	79,828	85,308	100,63	122,674	110,127	126,432
тыс. т	242,835	256,038	304,146	368,022	330,381	379,296
сырой руды, тыс. т	103,311	107,92	121,701	132,171	136,57	153,694
вскрыши, тыс. м ³	50,075	54,892	70,251	87,352	71,782	83,556
в т.ч. скальных пород	41,37	46,441	59,837	75,385	58,877	69,583
наносов	8,704	8,452	10,226	11,967	12,905	13,973

С 1997 г. по объему внешней торговли железная руда занимает первое место в списке неэнергетического минерального сырья - мировой объем ее экспорта превышает 10 млрд. долларов США [9]. Экспорт железорудного сырья значительно зависит от конъюнктуры мирового рынка, приоритетов внешней политики Украины, а также активности субъектов внешнеэкономической деятельности (рис. 5, табл. 2).

Согласно приведенным данным за период 2000-2010 г.г. тенденция роста поставок металлургической продукции за рубеж сохраняется. Более 85% экспорта железорудной продукции приходится на страны Восточной Европы, в числе которых лидируют Чехия, Словакия, Польша и Австрия.

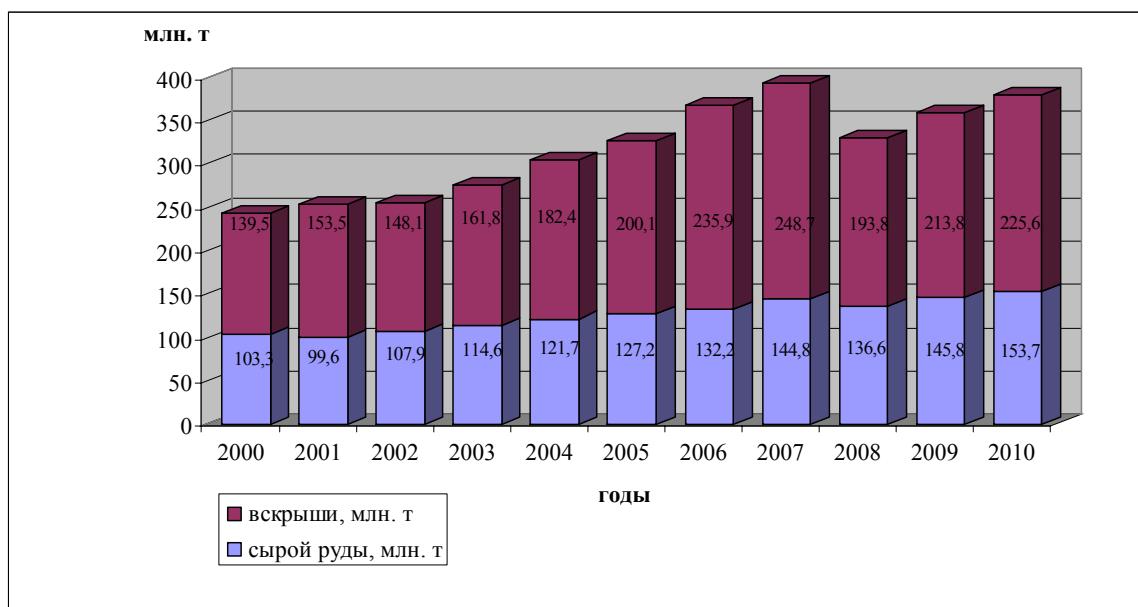


Рис. 4. Динамика производительности железорудных предприятий

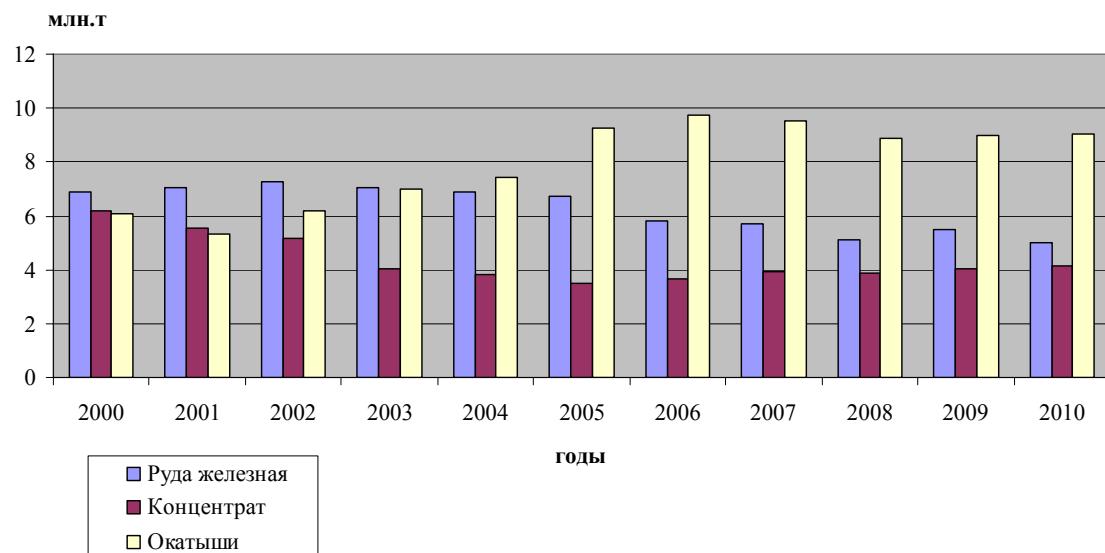


Рис. 5. Экспорт металлургического сырья

Несмотря на последствия мирового экономического кризиса 2008-2009 г.г. объем экспортных поставок в эти страны продолжает возрастать. Особый интерес к закупкам металлургической продукции проявляет Китай, увеличив объем импорта за период 2004-2010 в несколько раз. Основными конкурентами-экспортерами железорудного сырья в страны Европы являются Швеция и Россия, продукция которых в силу причин объективного характера является по ряду показателей более конкурентоспособной [6].

Учитывая важность развития горнoprомышленного комплекса и рост экспортных поставок горнорудной продукции, объем капитальных вложений на горнодобывающих предприятиях Украины за период 2000-2010 г.г. постоянно растет. В период экономического спада 2008-2009 г.г. наблюдается уменьшение расходов на капитальное строительство, однако в 2010 г. тенденция к росту возобновляется (рис. 6).

Таблица 2

Экспорт металлургического сырья по странам, млн. т

Страны	Годы					
	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Чехия	5,249	3,602	2,681	3,819	3,256	3,982
Словакия	3,037	4,623	4,935	3,267	2,29	2,974
Польша	5,773	4,78	3,911	4,112	4,107	4,508
Венгрия	0,414	0,209	0,412	0,419	0,298	0,309
Румыния	1,022	2,154	1,056	0,513	0,345	0,417
Болгария	0,511	0,178	0,357	0,522	0,413	0,431
Югославия (Сербия, Черногория)	0,632	0,446	0,613	1,697	1,102	1,319
Австрия	2,414	2,563	2,163	2,771	2,013	2,093
Италия	0,071	0,075	0,095	0,212	0,124	1,013
Россия	0,024	0,027	0,013	2,78	2,477	3,715
Китай	0	0	0,33	2,216	1,826	2,475
ИТОГО	19,147	18,657	16,566	22,328	18,251	23,236

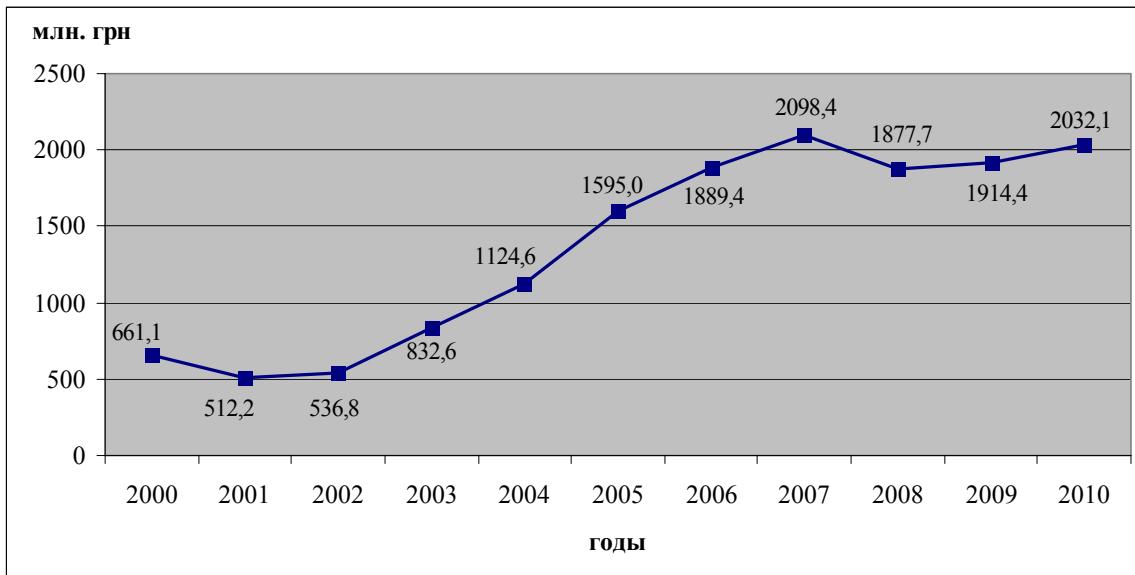


Рис. 6. Объемы капитальных вложений на горнодобывающих предприятиях Украины за период 2000-2010 гг.

Отрицательная тенденция развития горнодобывающей отрасли в период мирового экономического спада производства свидетельствует о зависимости рынка горнорудной продукции Украины от внешних факторов.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о росте спроса на горнорудную продукцию как для внутреннего, так и внешнего рынка. Тем не менее, сырьевая база железорудных предприятий, являясь достаточной и количественном соотношении по другим показателям (содержанию железа, вредных примесей), а также условиям отработки во многом уступает аналогичным предприятиям в других странах. Поэтому добыча руды на предприятиях Украины является энерго- и материалоемкой, требует больших затрат, по сравнению с аналогичными зарубежными предприятиями.

Флюсовые предприятия Украины поставляют горную продукцию для металлургии и для строительства. Основные производственные показатели работы флюсовых предприятий представлены на рис. 7. За период 2000-2010 г.г. объемы производства сохраняются на относительно постоянном уровне, что свидетельствует о стабильном спросе на продукцию. Основными видами флюсовой продукции являются известняк и доломит. Экспорт флюсового сырья и готовой продукции осуществляется преимущественно в Беларусь, Молдову и Россию [8].

Марганцево-рудное сырье в Украине добывают и обогащают на двух горно-обогатительных комбинатах: ОАО «Марганецкий ГОК» и ОАО «Орджоникидзевский ГОК». Эти ГОКи отрабатывают Никопольское месторождение марганцевых руд. Основными потребителями продукции этих ГОКов являются ферросплавные заводы - Никопольский, Запорожский, Стахановский и металлургические комбинаты. Отработка руд на Марганецком ГОКе ведется как подземным (77,5% общей добычи), так и открытым (22,5% общего объема) способами. Проектные мощности карьеров освоены на 56,9%. ОАО «Орджоникидзевский ГОК» добывает руду только открытым способом, их проектные мощности освоены на 70,4%.

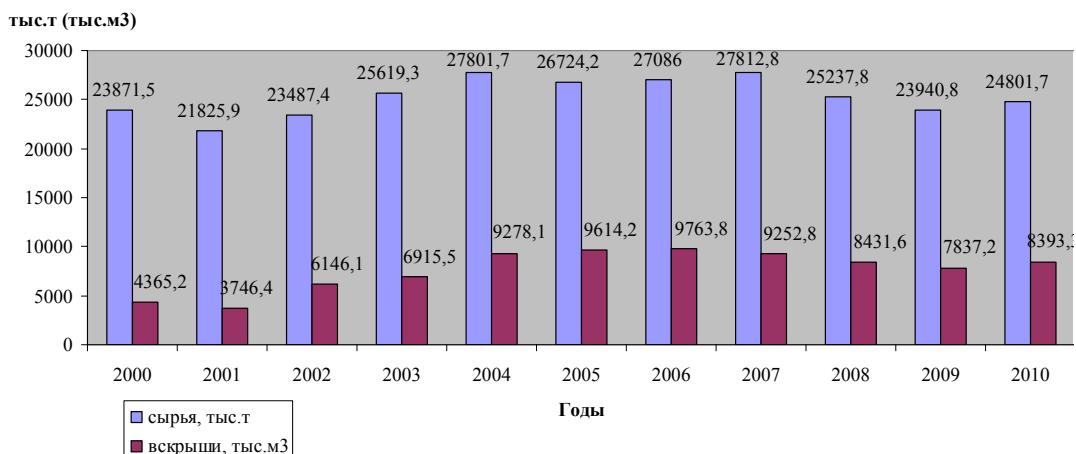


Рис. 7. Основные показатели флюсовых предприятий Украины

Основные производственные показатели по марганцеворудным предприятиям показаны на рис. 8.

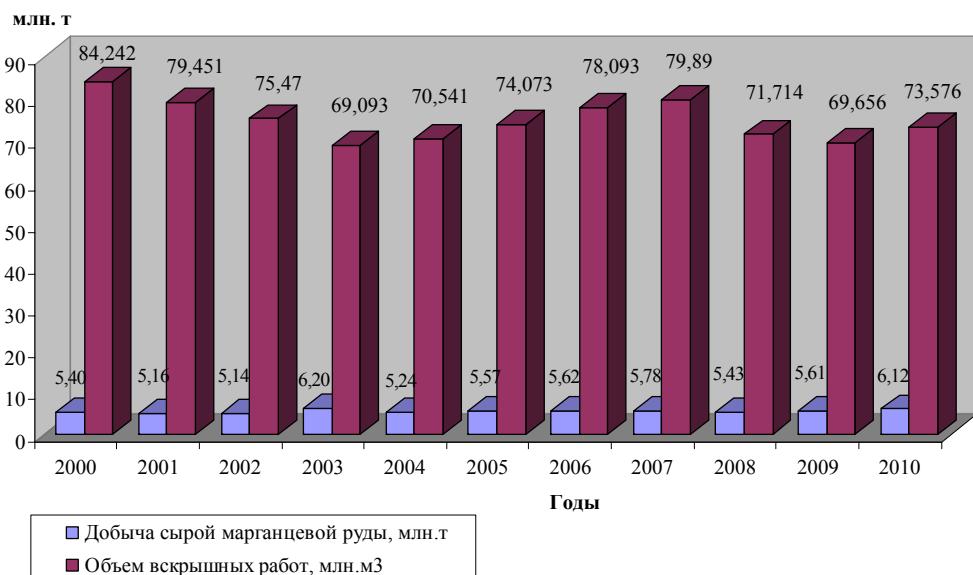


Рис. 8. Объем вскрышных и добычных работ на карьерах комбинатов Никопольского марганцево-рудного бассейна

Перспективы развития открытого способа добычи марганцевых руд в бассейне довольно неопределенные, т.к. требуется отвод новых земель (сельскохозяйственных угодий), которые находятся в частном владении. Однако переход на подземный способ разработки также довольно проблематичен, т.к. строительство шахт требует больших капитальных затрат и как показала практика десяти лет на ввод в эксплуатацию. Поэтому наиболее перспективным на ближайшие годы является открытно-подземный способ разработки. При этом сокращаются площади земли под горный отвод, снижаются капитальные затраты на 25-30%, вдвое сокращается срок строительства шахты [6, 8].

Анализируя тенденции развития горно-металлургического комплекса Украины, следует отметить, что рынок рудного и нерудного сырья интенсивно развивается. За счет внедрения прогрессивных технологий добычи и переработки минерального сырья предусматривается наращивание темпов освоения минерально-сырьевой базы Украины (табл. 3).

Таблица 3

Динамика добычи полезных ископаемых в Украине [7]

Группы полезных ископаемых	1991г.	2001 г.	2001 г. в % к 1991г.	Прогнозные ожидаемые показатели на период 2010-2015г.г.
Горючие	142,4	78,2	54,9	110-116
Металлические	229,5	137,2	59,8	130-140
Горно-химические	36,8	7,48	20,3	20-22
Нерудные для металлургии	56,0	39,6	70,7	35-38
Для строительства	352,0	52,7	15,0	190-210

Выводы. Обобщая характеристику современного состояния горной отрасли Украины, можно выделить следующие выводы:

1. Анализ минерально-сырьевой базы и существующих тенденций развития горно-металлургического комплекса Украины показывает, что потребности в энергетическом и металлургическом сырье будут возрастать, несмотря на последствия мирового экономического спада 2008-2009 г.г. Особое значение для социально-экономического приобретают отрасли, поставляющие на внешний рынок стратегическое сырье, которыми являются руды черных и цветных металлов, а также горно-химическое сырье и строительные материалы.

2. На ближайшую перспективу в освоении минерально-сырьевой базы Украины будет доминировать открытый способ разработки месторождений полезных ископаемых. При этом наращивание темпов производства будет осуществляться за счет модернизации оборудования, повышения эффективности технологических операций, увеличения производительности труда и снижения себестоимости продукции.

Список литературы

1. Голуб В. В. Обоснование метода расчета устойчивости бортов карьеров, формируемых в массиве горных пород сложной структуры: Дисс.. канд. техн. наук: Днепропетровск, 2004.- 175с.
2. Ильин А. И., Гальперин А. М. Стрельцов В. И. Управление долговременной устойчивостью откосов на карьерах. - М., Недра, 1985.- 248 с.
3. Синецкий А. П. Открытая разработка глубокозалегающих месторождений цветных металлов. - Горный журнал, 1980, № 9, с. 53-55.
4. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2007 році. – Вид-во Мінприроди України, 2008.
5. Д. С. Гурский, В. И. Калинин. Основные направления развития минерально-сырьевой базы Украины /Горный журнал, №6.- 2000, с. 141.
6. Сборник технико-экономических показателей горно-добывающих предприятий Украины в 2001-2002 г.г.- Кривой Рог: НТО ГНИГРИ, 2003.- 164 с.
7. Наукове обґрунтування та дослідження стратегічних напрямків підвищення ефективності відкритої розробки родовищ України: Звіт про НДР (заключний). Т.2/ НГУ; Шифр теми ГП-376; № ДР 0106U001378.- Дніпропетровськ, 2007.- 242с.
8. Сборник технико-экономических показателей горно- добывающих предприятий Украины в 2004-2005 г.г.- Кривой Рог: ГП ГНИГРИ, 2006.- 155 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Сдвижковою О.О.
Надійшла до редакції 04.11.10*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИЛ ІНЕРЦІЇ ПО КРИТЕРІЮ СТІЙКОСТІ БОРТІВ КАР'ЄРА ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СЕЙСМОБЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИБУХІВ

По результатам досліджень динамічних навантажень на укоси кар'єру встановлений критерій їх стійкості по допустимому прискоренню в залежності від типу порід, які складають цей укос. Стійкість бортів кар'єра всіх його уступів забезпечується відсутністю руйнування найслабшого шару породи за рахунок дотримання допустимого значення прискорення для даного шару.

По результатам исследований динамических нагрузок на укосы карьера установлен критерий их устойчивости по допустимому ускорению в зависимости от типа пород, которые составляют этот укос. Устойчивость бортов карьера всех его уступов обеспечивается отсутствием разрушения самого слабого пласта породы за счет соблюдения допустимого значения ускорения для данного пласта.

Criterion of stability is established for slope of open-cast mining by results of researches of dynamic loadings. It is calculated according to admissible acceleration depending on type of soils which make this slope. Stability of pit walls of all its quarries face is provided with absence of destruction of the weakest seam of soil by observancing of admissible value of acceleration for this seam.

Вступ. Ведення гірничо – добувних робіт на гірничорудних підприємствах завжди супроводжувалось проблемою по збереженню сейсмостійкості діючих і погашених уступів, які складаються з м'яких та скельних порід. Данна проблема вимагає її вдосконалення в частині вирішення задач, зв'язаних з визначенням критерію оцінки для розрахунку безпечних параметрів багато блокових масових вибухів. В попередніх дослідженнях і публікаціях вирішена одна з головних, в гірничій справі, проблем стійкості бортів кар'єру на основі дотримання його кута падіння але без врахування постійного динамічного впливу від дії СВХ [1], що і є метою даної статті.

Але практика роботи глибоких кар'єрів показала, що значення коефіцієнта запаса стійкості, які рекомендуються, не завжди гарантують надійну і безпечно роботу борту, так як обрушенні уступів, що складені різними гірськими породами, відбувається не миттєво, а розвивається у просторі і в часі. Особливо це стосується кар'єрів, де у постійному циклі проводять вибухові роботи з різним наближенням до бортів, адже в цьому випадку потрібно брати до уваги ще і сили, які виникають внаслідок підривання.

Мета і задачі дослідження. Розробка динамічного критерію стійкості бортів кар'єру для розрахунку сейсмобезпечних параметрів багато - блокових масових вибухів. Для досягнення сформульованої мети були поставлені і виконані наступні задачі:

- визначити найбільш небезпечні точки прикладення сейсмічної сили;
- визначити критерій оцінки стійкості укосів з врахуванням схеми дії сейсмічних сил на уступі, а саме: призма обвалення (метод розрахунку стійкості), коефіцієнт збереження стійкості та критична точка стійкості;

- проведення розрахунку сейсмобезпечних параметрів масового вибуху по визначеню граничної маси ВР, що підривається миттєво за одне сповільнення з врахуванням критерію оцінки стійкості укосів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розрахунку стійкості укосів та бортів кар'єру скористаємося методом круглоциліндричної поверхні ковзання [2].

При розрахунках стійкості схилу чи зсувного тиску призма ковзання ділиться вертикальними лініями на ряд відсіків. Зазвичай відсіки приймаються такими, що без втрати точності можна було в їх межах приймати поверхню за площину, а контур схилу, дію зовнішніх сил і т.п. практично однорідними (рис. 1).

Розглянемо умови рівноваги i -того відсіку. Усі зовнішні активні сили (вага ґрунту в відсіці, зовнішнє навантаження і т.д.), що діють на i -тий відсік, приходяться до рівнодіючої P_i . останню розкладаємо у точці її прикладення на складові: нормальну P_{Ni} і дотичну P_{Qi} до площини зсуву відсіку.

$$P_{Ni} = P_i \cos \alpha_i; \quad P_{Qi} = P_i \sin \alpha_i;$$

Припускаємо, що центр O і радіус кривизни R поверхні ковзання нам відомі. У цьому методі сили взаємодії між сусідніми відсіками не враховуються, спираючись на те, що сума цих сил повинна дорівнювати нулю, а сумарний момент від них відносно точки O невеликий. Дотична сила від усіх навантажень $P_{Qi} = P_i \sin \alpha_i$ є рушійною силою, яка викликає зсуви укосу.

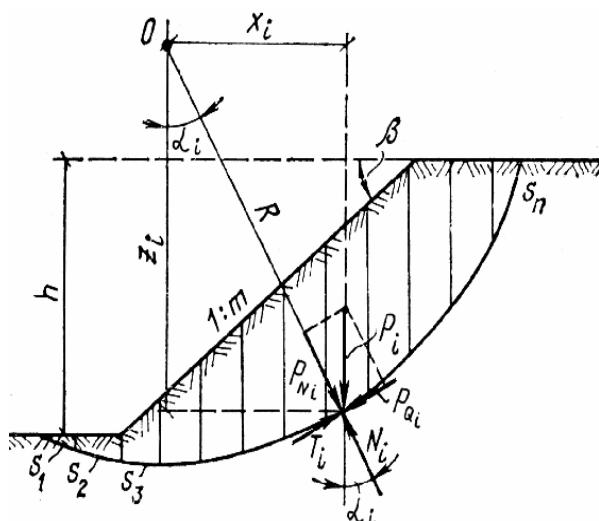


Рис.1. Схема рівнодіючих сил на i -тий відсік

Сила опору зсуву сипучого тіла, яка знаходиться за поверхнею ковзання (реакція), може бути представлена у вигляді суми сил тертя і зчеплення:

$$T_i = N_i \tan \varphi_i + c_i s_i$$

де N_i – нормальні реакції опори; s_i – довжина дуги поверхні ковзання; φ_i – кут внутрішнього тертя в межах дуги s_i ; c_i – питоме зчеплення в межах дуги s_i .

Із рівняння проекції усіх сил на нормаль до площинки відсіку отримаємо

$$N_i = P_{Ni} = P_i \cos \alpha_i$$

Друге рівняння проекції залишається незадовільним, так як сили взаємодії між відсіками не розглядаються. Умова рівноваги укосів зводиться до рів-

няння моментів усіх сил, що діють на сповзаючу призму, відносно центру O поверхні ковзання.

Але такий підхід не враховує зміну характеристик порід по міцності (сил зчеплення), які відбуваються при динамічному (імпульсному) режимі навантаження.

Врахування сейсмічної дії при розрахунку протизсувних утримуючих конструкцій відбувається додаванням до розрахункових зусиль так званої інерційної сейсмічної сили S_{ci} . Сейсмічна сила S_{ci} наближено визначається як частина від маси ґрунту, яка перетерплює сейсмічний вплив.

$$S_{ci} = \frac{a_c}{g} P_i \quad (1)$$

де a_c – сейсмічне прискорення; g – прискорення вільного падіння.

Маючи на увазі, що коефіцієнт динамічної сейсмічності $\mu = a_c/g$, отримаємо

$$S_{ci} = \pm \mu \cdot P_i. \quad (2)$$

Найбільш небезпечні точки прикладення сейсмічної складової визначаються графічно по кожному відсіку у центрі його тяжіння.

Направлення сили S_{ci} рекомендується рахувати найбільш несприятливим. У зв'язку з цим будемо приймати, що сейсмічні сили у кожному відсіку зсувного блоку направлені паралельно основі відсіку. Умова рівноваги відкосів зводиться до рівняння моментів усіх сил, які діють на сповзаючу призму, відносно центру O поверхні ковзання.

$$\sum P_i x_i + R \sum S_{ci} - \frac{R}{k} \sum T_i = 0$$

де R – радіус, що описує поверхню призми обвалення.

При цьому сили опору зсуву зменшаться у k раз з врахуванням необхідності забезпечити певний запас стійкості відкосу проти руйнування.

$$K_c = \frac{R \sum T_i}{\sum P_i x_i + R \sum S_{ci}}$$

Тоді коефіцієнт виражається

$$K_c = \frac{R \sum P_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + R \sum c_i s_i}{\sum P_i x_i + R \sum S_{ci}}$$

Враховуючи, що $\cos \alpha_i = x_i/R$, остаточно отримаємо значення коефіцієнту запасу стійкості

$$K_c = \frac{\sum P_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i + \sum c_i s_i}{\sum P_i \cos \alpha_i + \sum S_{ci}} \quad (3)$$

Значення коефіцієнту динамічної сейсмічності μ для розрахунку природних схилів рекомендують приймати по таблиці 1. При розрахунку штучних відкосів (насипи доріг, греблі т.д.) значення коефіцієнту із таблиці 1 слід (приблизно) збільшувати у 1,5 рази.

Таблиця 1

Сейсмічна бальність району	1-6	7	8	9	10	11	12
Коефіцієнт динамічної сейсмічності, μ	0,00	0,025	0,05	0,1	0,25	0,50	>0,75

Для розрахунку коефіцієнту динамічної сейсмічності μ для уступів та бортів кар'єра більш правильно буде виразити його, використовуючи рівняння методу круглоциліндричної поверхні ковзання. Для цього розкладемо інерційну сейсмічну силу на вертикальні і горизонтальні складові (рис.2) відповідно

$$S_{C.B.i} = \pm S_{c.i} \sin \xi ;$$

$$S_{C.G.i} = \pm S_{c.i} \cos \xi ,$$

де ξ - кут виходу сейсмічного імпульсу до горизонту.

Вплив вертикальної та горизонтальної складових сейсмічного прискорення на ступінь стійкості різний. Складова $S_{C.B.i}$ у певні моменти коливання здатна розвантажити вагу призми обвалення. Складова $S_{C.G.i}$ може збільшувати зсувні сили. Зазвичай $S_{C.B.i}$ і $S_{C.G.i}$ приймають як такі, що діють у напрямку зниження ступеню стійкості уступу та борта кар'єра.

Визначимо плечі сил $S_{C.B.i}$ і $S_{C.G.i}$ відносно центру обертання призми обвалення відповідно n і m . Використовуючи метод кругло циліндричної поверхні ковзання, можна записати

$$\mu = \frac{\sum (P_i \cos \alpha_i \operatorname{tg} \varphi + c_i l_i) R}{\sum (P_i \sin \alpha_i) R + S_{C.G.} m + S_{C.B.} n}, \quad (4)$$

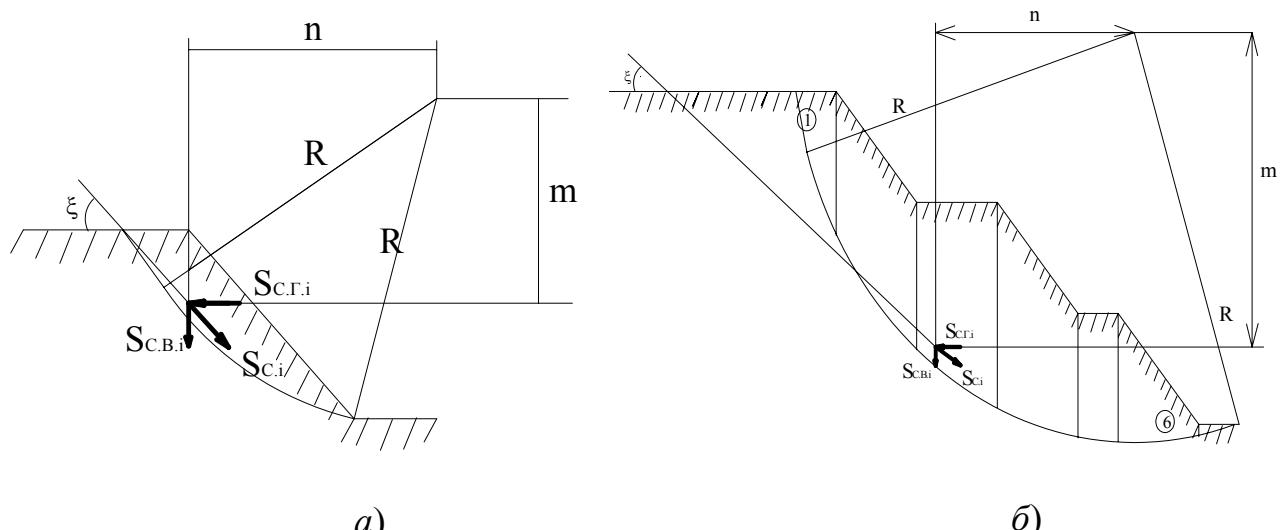


Рис.2. Схема дії сейсмічної сили: а) на уступ кар'єру; б) на борт кар'єру

По Н.Н. Маслову [3], вплив сил інерції на зміну стійкості уступу (борту) може бути представлено як збільшення його крутини на кут

$$\delta_c = \operatorname{arctg} \mu . \quad (5)$$

З формули (5) випливає, що при прискоренні a земна поверхня випробовує нахил на кут δ_c , а ступінь стійкості укосу знижується. Одниция прискорен-

ня, як показують дослідження [4], є ефективним критерієм стійкості укосів при веденні ВР у кар'єрі.

У таблиці 2 представлена допустима величина одиниці прискорення для вказаних гірничих об'єктів, складених різними гірничими породами.

Аналіз літературних [5] і отриманих нами експериментальних даних дав змогу виразити залежність допустимих значень інтенсивності впливу СВХ на укоси (в одиницях прискорення) від приведеної відстані до допустимої маси групи зарядів, що одночасно підриваються ($\text{м}/\text{кг}^{1/3}$) у графічному вигляді, що показаний на рис.3. Залежність, яка представлена на рисунку, в аналітичному вигляді записується наступним чином:

$$\bar{r} = \frac{r}{Q_{ep}^{1/3}} = 4,6 \cdot a^{-2/3}, \quad \text{м}/\text{кг}^{1/3}, \quad (6)$$

а допустима маса зарядів, що підриваються одночасно, визначається з виразу:

$$Q_{ep} = \left(\frac{r}{\bar{r}} \right)^3, \quad \text{кг}.$$

Таблиця 2
Значення допустимих одиниць прискорення для укосів

Гірнича порода	Допустиме значення одиниці прискорення, a
М'які породи, наноси	0,15
Скельні породи:	
- сильно тріщинуваті з глиною і високою пористістю	0,50
- значно тріщинуваті	0,90
- середньо тріщинуваті	1,30
- слабо тріщинуваті	1,90
- дуже міцні і монолітні, практично без тріщин	2,25



Рис.3. Залежність допустимих значень інтенсивності впливу СВХ на укоси (в одиницях прискорення) від приведеної відстані до допустимої маси групи зарядів, що одночасно підриваються ($\text{м}/\text{кг}^{1/3}$)

Дані для побудови рисунку 3

a	$\lg a$	$\bar{r} = r/Q^{1/3}$	$\lg r/Q^{1/3}$
0,15	-0,82	16,2	1,21
0,50	-0,30	7,24	0,86
0,90	-0,05	5,00	0,70
1,30	0,11	3,89	0,59
1,90	0,28	3,00	0,48
2,25	0,35	2,70	0,43

На основі встановлених допустимих значень інтенсивності впливу СВХ на укоси (в одиницях прискорення) було здійснено подальший розрахунок сейсмобезпеччих параметрів вибухових робіт для різних типів порід, які занесені до табл.3. Побудовано графік для м'яких та скельних із сильною і середньою тріщинуватістю порід (рис. 4). Для скельних порід, допустимі значення одиниці прискорення яких більші 1.3, графік не будували, так як такі породи практично не зустрічаються.

Таблиця 3

r	$Q(a=0.15)$	$Q(a=0.50)$	$Q(a=0.9)$	$Q(a=1.3)$	$Q(a=1.9)$	$Q(a=2.25)$
10	0.2312	2.5684	8.3217	17.3625	37.0880	52.0106
20	1.8496	20.5472	66.5736	138.9000	296.7040	416.0848
30	6.2424	69.3468	224.6859	468.7875	1001.3760	1404.2860
40	14.7968	164.3776	532.5888	1111.2000	2373.6320	3328.6780
50	28.9000	321.0500	1040.2130	2170.3130	4636.0000	6501.3250
60	49.9392	554.7744	1797.4870	3750.3000	8011.0080	11234.2900
70	79.3016	880.9612	2854.3430	5955.3380	12721.1800	17839.6400
80	118.3744	1315.0210	4260.7100	8889.6000	18989.0600	26629.4300
90	168.5448	1872.3640	6066.5190	12657.2600	27037.1500	37915.7300
100	231.2000	2568.4000	8321.7000	17362.5000	37088.0000	52010.6000

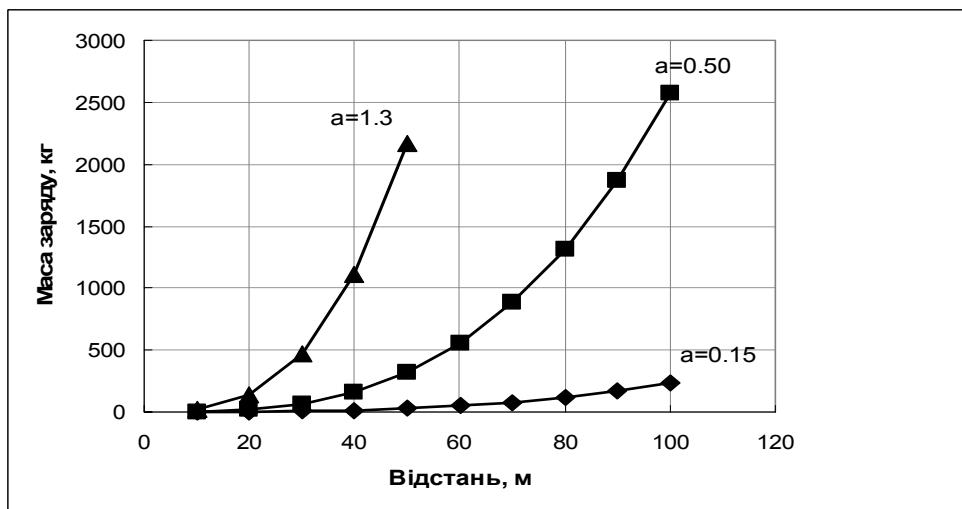


Рис.4. Графік визначення сейсмобезпеччих параметрів вибухових робіт для укосу кар'єра, що складений різними типами порід

З графіку видно, що якщо борт складений різними породами, параметри вибухових робіт вибирають по найслабшій породі. При виконанні таких умов можна забезпечити стійкість усього борта кар'єра.

Висновки.

1. Графічно встановлені найбільш небезпечні точки прикладення сейсмічної сили, що визначаються по кожному відстані у центрі його тяжіння.
2. Отримано залежність приведеної відстані від прискорення (критерій стійкості відкосу), за допомогою якої вибираємо допустимі, для стійкості укосу, параметри вибуху.
3. Стійкість бортів кар'єра всіх його уступів забезпечується відсутністю руйнування найслабшого шару породи за рахунок дотримання допустимого значення прискорення для даного шару.

Список літератури

1. Несмашний Є. О. Розвиток методів розрахунку стійкості бортів та відвалів залізорудних кар'єрів / Є. О. Несмашний, Г. І. Ткаченко // Вісник КТУ. – 2004. – № 3. – С. 54 – 58.
2. Фисенко Г. Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов / Фисенко Г. Л. – М.: Недра, 1965.
3. Маслов Н. Н. Механика грунтов в практике строительства / Маслов Н. Н. – М.: Стройиздат, 1977.
4. Физика взрыва /Под редакцией Л.П. Орленко// - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 832 с.
5. Бойко В.В. Оценка сейсмобезопасности сооружений при воздействии на них взрывных волн с учетом их спектральных характеристик / Бойко В.В., Кузьменко А.А., Хлевнюк Т.В.// Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2008. – №16. – С.3 – 13.
6. Кузьменко А. А. Распространение сейсмовзрывных волн в многослойном горном массиве /Кузьменко А. А., Хлевнюк Т.В., Чала О. Н./ Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2010. – №19. – С.15 – 20.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Собком Б.Ю.
Надійшла до редакції 04.11.10*

УДК622.271.3

© Ю.Д. Баранов, А.В. Зберовский

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЕМОВ ПРИ ИХ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ В ПРОЦЕССЕ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований физико-химических свойств черноземов при их длительном хранении в процессе горнотехнической рекультивации.

У роботі наведені результати експериментальних досліджень фізико-хімічних властивостей чорноземів при їхньому тривалім зберіганні в процесі гірничотехнічної рекультивації.

The results of experimental researches of physical and chemical properties of humus are at their protracted storage in the process of mining recultivation.

При добыве полезных ископаемых из оборота неизбежно изымаются сельскохозяйственные и лесные угодья, соответственно возрастают и площади нарушенных земель. Сохранить ценные угодья, если в недрах земли залегают

полезные ископаемые, трудно. В результате проблема рекультивации и возвращения в народнохозяйственное использование нарушенных земель становится первоочередной задачей в горнодобывающих районах Украины. Решается эта задача проведением комплекса различных мероприятий, в частности созданием на полях рекультивации искусственных почвоподобных земель с использованием или без использования насыпного плодородного слоя почвы – ранее снятого и сохраняемого чернозема [1,2].

В связи с этим исследование физико-химических свойств и процессов, протекающих в черноземах в течение длительного хранения на складах и в процессе их дальнейшего использования при рекультивации, представляет собой весьма важную технологическую и экологическую задачу.

Целью настоящих исследований ставилось определение некоторых физико-химических свойств черноземов, находящихся в складах на длительном хранении, таких как естественная влажность, плотность грунта и скелета грунта, а также состав химических элементов.

Исследования были проведены на складе чернозема Вольногорского горно-металлургического комбината созданного 25 лет назад (в 1985 году) и расположенного в северном борту балки Скаженная. Отбор проб проводился самоходной буровой установкой ПБУ-1. До глубины 60 см бурение происходило вращательным способом с применением пробоотборника диаметром 135 мм, длиной 20 см. Пробы отбирались через интервал 20 см. С глубины 1,5 м отбор проб проводился через интервал 1,0 м. Углубка скважины производилась на глубину 80 см буровым шнеком диаметром 135 мм, затем поднимался весь набор бурового инструмента, вместо бурового наконечника, представленного твердосплавным долотом, навинчивался пробоотборный стакан, и проводилось дальнейшее углубление на 20 см. Скважина была пробурена до подошвы склада чернозема, что составило 14,5 м. Всего было отобрано 17 проб.

Из ненарушенного керна, извлечённого из стакана, отбирались пробы для определения естественной влажности, естественной плотности грунта и плотности скелета грунта, а также пробы для определения химических элементов.

Отбор проб производился в ясную сухую погоду, температура воздуха составляла $+14^{\circ}\text{C}$.

Отбор проб для физических испытаний грунта производился непосредственно на месте бурения скважины из керна методом режущего кольца. Грунтооборонная гильза, имеющая объём $45,82 \text{ см}^3$, забивалась в ненарушенный керн забойником, затем при помощи ножа срезались верхние и нижние основания гильзы и при помощи выдавливателя, отобранная проба перегружалась в пронумерованную и оттариованную блюксу. Все подготовленные к испытаниям пробы взвешивались на лабораторных весах типа Т-200. Вес пробы с блюксой и крышечкой заносился в лабораторный журнал. Сушка проб производилась в сушильных шкафах в течении 12 часов при температуре 110°C . Затем пробы вторично взвешивались, результаты взвешивания заносились в лабораторный журнал. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ ВЛАЖНОСТИ И ОБЪЁМНОЙ МАССЫ ГРУНТА ПО ПОЛУЧЕНИИ ПРОБАМ, ОБЫКНОВЕННЫМ ИЗ СКВАЖИНЫ, ПРОБУРЕННОЙ НА СКЛАДЕ ЧЕРНОЗЕМА, СОЗДАННОГО В 1985 ГОДУ

№ п/п	№ проб	Глубина отбора проб, м	Объём, см ³ (V)	№ боксы (g ₀)	Бес глинистых примесей		$W = (g_1 - g_2) / (g_2 - g_0) * 100$	$\Delta V = (g_1 - g_0) / (100 + W)$	$\gamma_{cr} = (V_0 * 100) / (100 + W)$	Объемная масса грунта р/см ³	Объемная масса грунта р/см ³ $\gamma_0 = (g_1 - g_0) / V$						
					Грунтоотборные гильзы	Бес глинистых примесей											
1	1	0-20	4	45,82	10	36,44	130,89	117,97	94,45	81,53	15,85	2,06	1,78				
2	2	20-40	4	45,82	3	32,52	134,57	121,31	102,05	88,79	14,93	2,23	1,94				
3	3	40-60	4	45,82	6	36,71	127,40	114,65	90,69	77,94	16,36	1,98	1,70				
4	4	1,5	4	45,82	9	36,31	117,92	107,30	81,61	70,99	14,96	1,78	1,55				
5	5	2,5	4	45,82	7	37,44	131,04	119,27	93,60	81,83	14,38	2,04	1,79				
6	6	3,5	4	45,82	14	32,72	130,01	118,72	97,29	86,00	13,13	2,12	1,88				
7	7	4,5	4	45,82	19	37,6	120,55	108,39	82,95	70,79	17,18	1,81	1,54				
8	8	5,5	4	45,82	15	34,17	133,62	118,29	99,45	84,12	18,22	2,17	1,84				
9	9	6,5	4	45,82	1	26,08	124,66	109,99	98,58	83,91	17,48	2,15	1,83				
10	10	7,5	4	45,82	16	31,27	124,73	110,49	93,46	79,22	17,98	2,04	1,73				
11	11	8,5	4	45,82	13	29,76	126,52	109,80	96,76	80,04	20,89	2,11	1,75				
12	12	9,5	4	45,82	18	32,38	125,39	108,24	93,01	75,86	22,61	2,03	1,66				
13	13	10,5	4	45,82	11	35,07	130,87	113,10	95,80	78,03	22,77	2,09	1,70				
14	14	11,5	4	45,82	4	39,36	138,63	125,03	99,27	85,67	15,87	2,17	1,87				
15	15	12,5	4	45,82	20	35,46	132,00	117,27	96,54	81,81	18,01	2,11	1,79				
16	16	14	4	45,82	2	34,52	130,70	116,85	96,18	82,33	16,82	2,10	1,80				
17	17	14,3	4	45,82	5	32,98	128,14	113,68	95,16	80,70	17,92	2,08	1,76				

В результате исследований проб была определена зависимость влажности грунта по глубине склада чернозема, которая приведена на рис. 1. Установленная зависимость, с достаточной для инженерных расчетов точностью, описывается полиномом вида:

$$\omega = 0,0009h^5 - 0,0275h^4 + 0,2799h^3 - 0,8899h^2 + 0,442h + 15,601;$$

$$R^2 = 0,7307.$$

Установленная зависимость показывает, что после 25-летнего хранения чернозема в складе, его влажность составляет от 13 до 23%. Увеличение влажности с глубиной отбора проб не является постоянной и требует дополнительных исследований грунта на складах чернозема с различным сроком хранения.

ω , Влажность, %

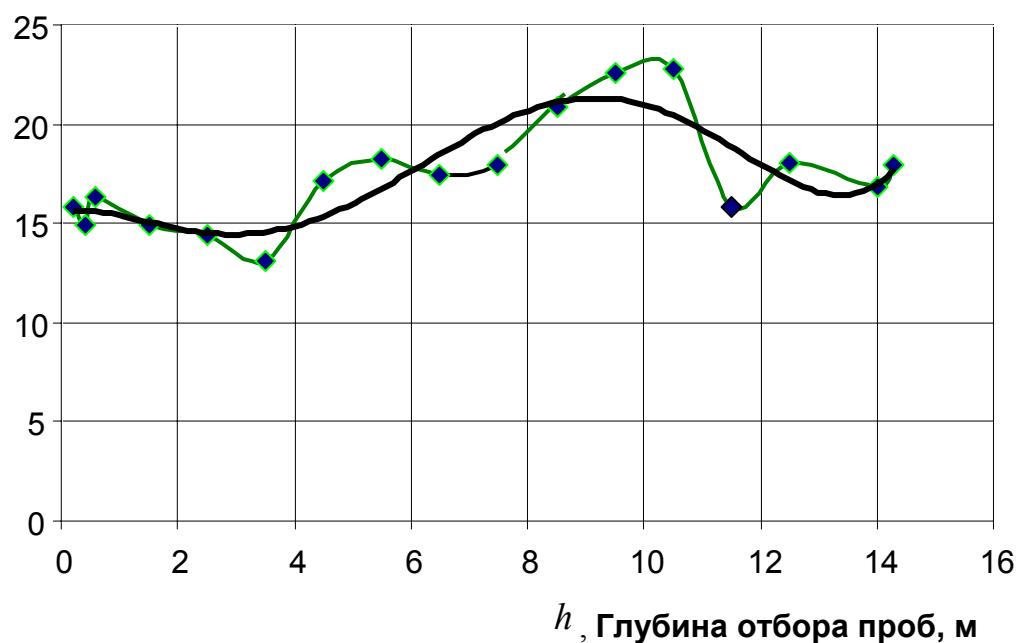


Рис. 1. Зависимость влажности грунта по глубине склада чернозема

Аналогичные зависимости установлены для изменения по глубине склада чернозема естественной влажности, естественной плотности грунта и плотности скелета грунта.

Исследование проб на предмет определения в них наличия химических элементов были выполнены на основе современного спектроскопического метода исследования вещества – рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), с применением энергодисперсионного рентгенофлуоресцентного спектрометра «Quan X», который предназначен для анализа элементного состава материала и позволяет анализировать все элементы от Na до U на уровне концентраций от ppm до процентов с высоким разрешением и погрешностью анализа, как правило, не превышающей 1 %.

Метод РФА основан на сборе и последующем анализе спектра, полученного путём воздействия на исследуемый материал рентгеновским излучением.

При облучении атом переходит в возбуждённое состояние, сопровождающееся переходом электронов на более высокие квантовые уровни. В возбуждённом состоянии атом пребывает крайне малое время, порядка одной микросекунды, после чего возвращается в спокойное положение (основное состояние). При этом электроны с внешних оболочек либо заполняют образовавшиеся вакантные места, а излишек энергии испускается в виде фотона, либо энергия передается другому электрону из внешних оболочек (оже-электрон). При этом каждый атом испускает фотоэлектрон с энергией строго определённого значения, например железо при облучении рентгеновскими лучами испускает фотоны $K\alpha = 6,4$ кэВ. Далее соответственно по энергии и количеству квантов судят о строении вещества.

Общий вид спектрометра приведен на рис. 2. Основное достоинство рентгенофлуоресцентного спектрометра «Quan X» – широкий спектр анализируемых материалов (как металлов и сплавов, так и неметаллических материалов), скорость проведения анализа, минимальная пробоподготовка и удобство в эксплуатации. На получение результата анализа тратится от нескольких секунд до часа максимум, включая время, необходимое для пробоподготовки.

Спектрометр эффективно применяется для сертификационного анализа продукции, исследования состава и анализа различных типов материалов в твердом, порошкообразном, жидком виде, в виде фильтратов и тонких пленок. Камера для исследования образца имеет конструкцию, позволяющую анализировать образцы самой различной формы и размеров - от менее чем 1 мм до десятков см в автоматическом и ручном режиме, а создание гелиевой атмосферы или вакуума позволяет анализировать лёгкие элементы.



Рис. 2. Энергодисперсионный рентгенофлуоресцентный спектрометр «Quan X»

Всеми компонентами спектрометра и процессом анализа в целом управляет персональный компьютер. Методы количественного анализа выбираются в зависимости от матрицы анализируемого образца и доступности стандартов.

Результаты анализа после автоматической цифровой обработки спектров, вычитания фоновой составляющей, учёта спектральных наложений и получе-

ния чистых интенсивностей спектральных пиков, представляются в виде спектра, сравнения спектров, маркеров идентификации спектров и меток пиков. Параметры и результаты анализа выводятся на дисплей, принтер и модем.

По пикам полученного спектра можно качественно определить, какие элементы присутствуют в образце. Для получения точного количественного содержания необходимо обработать полученный спектр с помощью специальной программы калибровки (количественной градуировки прибора). Калибровочная программа должна быть предварительно создана с использованием стандартных образцов, чей элементный состав точно известен. В первом приближении, при количественном анализе спектр неизвестного вещества сравнивается со спектрами, полученными при облучении стандартных образцов, таким образом, получается информация о количественном составе вещества.

В результате выполненных исследований проб чернозёма были определены 12 основных видов химических элементов содержащихся в них. К таким элементам относятся: Fe, Si, Ca, Al, K, Mn, Cu, Ti, Zr, Cr, Ni, Zn.

В качестве примера на рис.3 приведен спектр выполненный спектрометром «Quan X» для пробы грунта № 4 отобранной на складе чернозема с глубины 1,5 м. Аналогичные результаты получены по всем 17 пробам скважины.

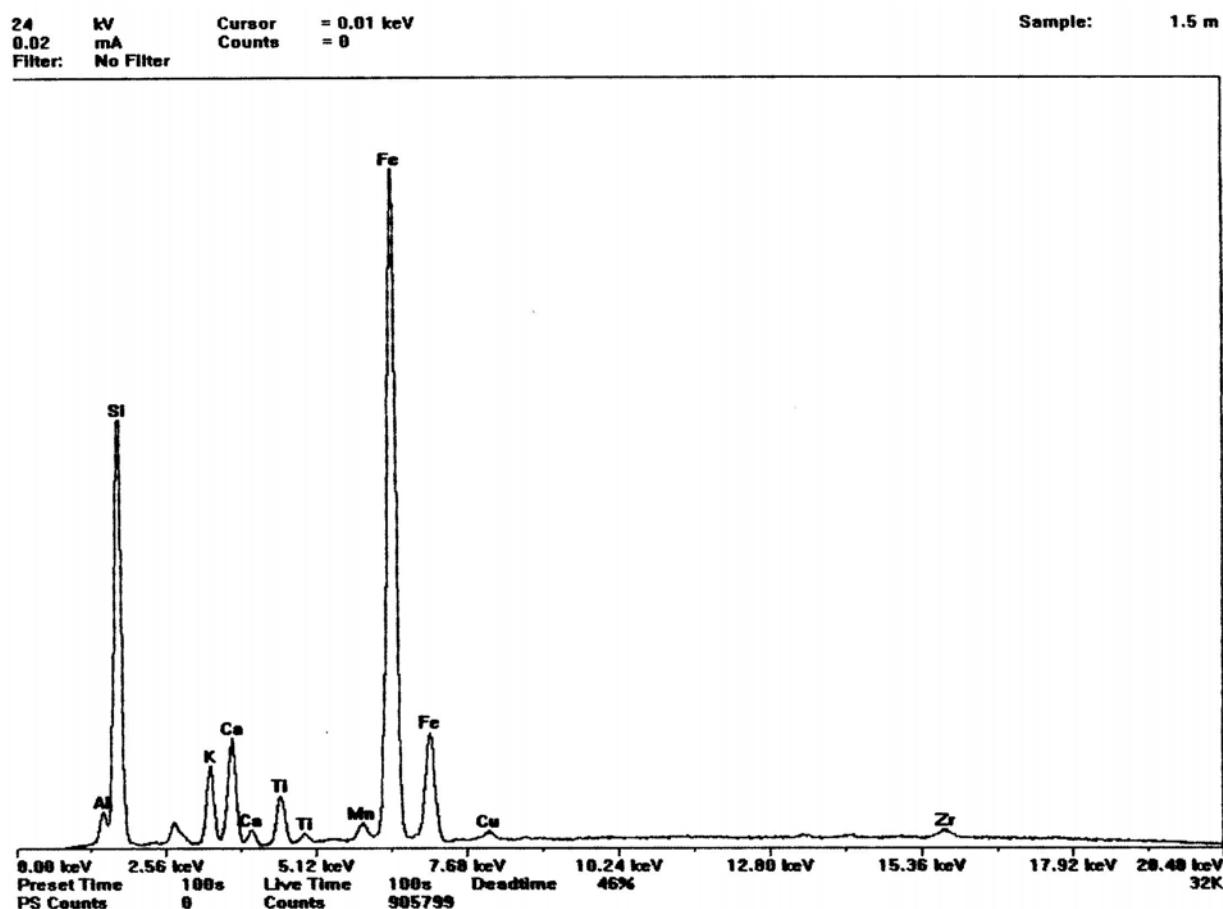


Рис. 3. Спектр химических элементов установленных в пробе чернозема на глубине 1,5 м

Выводы.

1. До настоящего времени нет достоверных данных и результатов исследований физико-химических свойств и явлений, протекающих в черноземах при их длительном (до 50 лет и более) хранении на складах, в процессе горнотехнической рекультивации на карьерах Украины.

2. Впервые установлены значения естественной влажности, естественной плотности грунта и плотности скелета грунта и их изменения на глубину до 14 м при хранении чернозема на складах Вольногорского ГМК. Показано, что после 25-летнего хранения чернозема в складе, его влажность составляет от 13 до 23%.

3. С применением рентгенофлуоресцентного анализа впервые определен химический состав чернозема после 25 лет его хранения на складе Вольногорского ГМК, установлено наличие элементов Fe, Si, Ca, Al, K, Mn, Cu, Ti, Zr, Cr, Ni, Zn.

4. Определены направления дальнейших исследований по расширению знаний о физико-химических, биологических и агрохимических свойствах черноземов при их продолжительном хранении в процессе горнотехнической рекультивации на Вольногорском ГМК.

Список литературы

1. Фаткулин Ф.А., Андроханов В.А. Изменение свойств плодородного слоя почвы, складируемого в целях рекультивации на угольных разрезах КАТЭКа // Тез. докл. Республ. науч. конф. "Экология и охрана почв засушливых территорий Казахстана". — Алма-Ата, 1991. — С. 216-217.
2. Техноземы: свойства, режимы, функционирование. В.А. Андроханов, С.В. Овсянникова, В.М. Курачев. — Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000. — 200 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.
Надійшла до редакції 10.11.10*

УДК 622.833.5

© Р.О. Дичковський, В.В. Руських, Є.В. Тимошенко

ДО ПИТАННЯ ВІЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ ПРИ ВИСОКОШВІДКІСНОМУ ВИЙМАННІ ТОНКИХ ВУГЛЬНИХ ПЛАСТИВ

В статті представлені методи аналітичного дослідження технологічних параметрів та напружень масиву гірських порід при високошвидкісному вийманні тонких вугільних пластів. Проведене аналітичне дослідження напружено – деформованого стану масиву гірських порід. Наведені результати аналітичного визначення геометричних та фізичних параметрів масиву гірських порід при високій швидкості посування очисного вибою.

В статье представлены методы аналитического исследования технологических параметров и напряжений в массиве горных пород при высокоскоростной выемке тонких угольных пластов. Проведено аналитическое исследование напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Приведены результаты аналитического определения геометрических и физических параметров массива горных пород при высокой скорости подвигания очистного забоя.

In the article the methods of analytical research of technological parameters and rock mass tensions at high speed mining of thin coal seams are presented. The analytical investigation of tensely-deformed state o rock mass is conducted. The results of analytical determination of geometrical and physical parameters of rock mass at high speed wallface moving are resulted.

Вступ. Гірниче виробництво є одним з самих трудомістких, складних і небезпечних видів промислового виробництва. Одним з об'єктів досліджень в гірничій справі є порідний масив із капітальними, підготовчими і очисними виробками. Специфікою їх вивчення є велика тривалість досліджень в часі, значні розміри об'єктів в просторі, недоступність безпосереднього вивчення традиційними методами і засобами. Для проведення досліджень в натурних умовах потрібні значні витрати, а іноді здійснити бажаний експеримент або спостереження технічно дуже складно, небезпечно або принципово неможливо.

У таких випадках на допомогу дослідникам приходять методи математичного або комп'ютерного моделювання. Нині розроблена велика кількість математичних моделей масиву, отриманих на основі строгих аналітичних рішень відповідних задач теорії пружності. У ряді випадків (неоднорідний масив, наявність тріщин, сполучення виробок, що вимагають постановки об'ємної задачі і ін.) аналітичне вирішення таких завдань є досить складним. У цих випадках доцільне використання практичних досліджень зрушень гірського масиву безпосередньо із гірничих виробок.

Вибір методу дослідження напруженого – деформованого стану масиву гірських порід. Науковцями створено велику кількість методів прогнозу напруженого – деформованого стану масиву гірських порід при веденні очисних робіт. Основною вимогою, яка враховувалася при виборі методу, є можливість вирішення всіх поставлених задач, причому із максимальною точністю.

Значну кількість робіт, виконаних в цій області, автори умовно розділяють на три основні групи. У першій групі робіт гірський масив представляється суцільним середовищем, деформації в якому відбуваються без порушення суцільності. У другій групі товща порід розглядається як шарувате середовище, представлене консольними балками або плитами. Роботи третьої групи пов'язані з вивченням закономірностей розподілу напружень і деформацій в опорній зоні на основі експериментальних даних. Останні методи можуть бути використані лише в певних умовах або вимагають у кожному конкретному випадку проведення трудомістких експериментів. Внаслідок цього вони не набули широкого поширення і в цьому аналізі не розглядаються.

У роботах першої групи масив розглядається в цілому від покрівлі пласта, що розробляється, до поверхні. До неї належать роботи С.Г. Авершина, Г.І. Грицка, В.В. Власенка, Р.А. Муллера. Товща порід представляється суцільним масивом, який володіє пластичними, пружними, або пружнопластичними властивостями.

Багато науковців вважають, що математичний апарат теорії пружності і пластичності досить складний і трудомісткий, проте із-за неоднорідності властивостей осадкових порід дає лише наближені результати. Крім того, на думку Л.Г. Фісенка [1], представлення товщі порід у вигляді суцільного масиву не до-

зволяє врахувати найважливіші горно-геологічні чинники, такі як наявність породомостів, їх потужність, розташування по висоті і ін.

Останніми роками широке застосування для розрахунку напруженодеформованого стану порід отримав «Метод скінчених елементів», заснований на апроксимації суцільного середовища за допомогою дискретних елементів, які мають довільну форму, взаємодіють один одним через вузли. Цей метод має ряд позитивних сторін. Він забезпечує можливість задавання неоднорідності масиву, регулювання точності розрахунків шляхом згущування сітки елементів, свобода в завданні конфігурації областей і граничних умов, наглядність і ін.

Відомо, що деформація порід в зоні вигину розшаруванням між шарами порід, утворенням порожнин, параметри яких залежать від ряду геологічних і гірничотехнічних чинників. Розшарування має місце не тільки над виробленим простором, але і над масивом. Це призводить до нерівномірного розподілу навантажень в надвугільній товщі, тому при використанні методу скінчених елементів для більшої достовірності результатів розрахунку необхідно знати розміри порожнин розшарування і закон розподілу навантажень по ширині виробок.

Друга група об'єднує роботи учених, які розглядають надвугільний масив як дискретне шарувате середовище. З цієї групи слід виділити роботи В.Д. Слєсарєва, яким було запропоновано використовувати для розрахунку наблизений метод, заснований на теорії плит Г.Н. Кузнецова, методи розрахунку якого базуються на гіпотезі "шарнірних блоків" О.О. Борисова, який на основі розробленого їм об'ємного моделювання встановив ряд положень про характер деформацій порід основної покрівлі. На підставі експериментальних даних і аналізу теорії тонких плит О.О. Борисов довів прийнятність теорії тонких плит для вирішення геомеханічних задач і розробив розрахункову схему, яка є моделлю консольної балки, лежачої на пружній основі. Ця схема передбачає поділ товщі підроблених порід на пачки з породами-мостами в основі закріплюючим навантаженням в затисканнях.

Також з цієї групи слід зазначити роботи співробітників ВНДМІ [2], які розглядають гірський масив шаруватим, що зберігає безперервність деформацій з прослизанням по контактах нашарування. Прийнято, що процес зрушення порід надвугільного масиву протікає у вигляді послідовного вигину плит, а при значних розмірах очисного вироблення - балок-смужок. При цьому допускається, що опускання всіх шарів у вертикальній площині мають однакові величини.

Таким чином, в роботах цієї групи надвугільний масив розглядається як шарувате середовище, деформація якого відбувається із порушенням суцільності по контакту нашарування.

Проте, методи розрахунків, описані в більшості цих робіт, дозволяють вирішувати лише декотрі питання, визначити, наприклад, крок посадки основної покрівлі, конвергенцію бічних порід, навантаження на механізоване кріплення. Вони не дозволяють вирішувати всі геомеханічні завдання в комплексі, не враховують деякі гірничотехнічні і технологічні чинники.

Всі геомеханічні параметри, які мають бути обґрунтовані в цій роботі, можуть бути встановлені при використанні методу, розробленого в Національ-

ному гірничому університеті О.В. Савостьяновим. Цей метод враховує вплив геологічних, гірничотехнічних і виробничих факторів на стан гірського масиву в процесі ведення очисних робіт, що дозволяє вирішувати цілий ряд технологічних завдань, зокрема при різних способах управління покрівлею.

Метод розрахунку досить детально викладений у ряді робіт [3, 4] тому немає необхідності в його докладному описі. Відзначимо лише, що у вказаному методі модель надвугільної товщі представлена у вигляді пакету тонких плит, нежорстко затиснених по контуру очисної виробки і навантажених нерівномірно розподіленим навантаженням від маси підроблених порід.

Зміна швидкості посування очисного вибою врахована шляхом використання залежностей зміни модуля деформації порід над виробленим простором E_n і коефіцієнта жорсткості системи β від часу, які отримані на основі теоретичних і експериментальних досліджень.

При відомих параметрах епюр навантажень і обчислених коефіцієнтах, що характеризують закон розподілу цих епюр, проводиться розрахунок опускань і деформацій шару породи.

Обґрунтування аналітичних методів дослідження геометричних та фізичних параметрів гірського масиву. Спостереженнями в натурних умовах і моделюванням встановлено, що розвиток зрушення шаруватих порід при їх підробці або надпрацюванні відбувається у вигляді пошарового вигину тонких плит, не жорстко затиснених по контуру виробки. На початку при невеликих прольотах над і під виробкою формуються порожнини. Криві вигину шарів мають точки, де кривизна вигину міняє знак. Точки є межею сумісних деформацій шарів в масиві і по мірі видалення від контура виробки, зміщуються у бік виробленого простору.

По мірі видалення від розрізної печі (збільшення прольоту) опускання зростають, підняття підошви зменшується, частина маси підроблених шарів породи передається на підошву або на шар, що пролягає нижче. Над виробленим простором по мірі опускання шарів порід на підошву відбувається часткове або повне відновлення нормального навантаження до навантаження, що відповідає гравітації. Аналіз вимірювань, виконаних в різних умовах, показав, що для рівножорстких шарів закон зміни нормальних навантажень від межі очисних робіт до середини виробки практично є лінійним. Тільки за наявності породи – моста лінійність розподілу навантаження порушується, наближаючись до експоненти, і її максимальне значення в цьому випадку перевищує сили гравітації в 1,3-1,5 рази.

Маса підроблених порід, що зависають у межах над масивом, розподіляється по ширині виробки нерівномірно. За наявності порожнин нормальне навантаження від точки, де кривизна вигину шару міняє знак до середини виробки, відсутнє. По мірі видалення від цієї точки у бік масиву вона збільшується до максимуму з подальшим зниженням до сил гравітації (рис 2.3). При цьому максимум, як показали спостереження, віддалений від лінії, що проходить нормальню до нашарування через межу масиву (вибою). З часом розміри порожнин змінюються до повного їх закриття, що викликає перерозподіл нормальних навантажень на рівні кожного шару породи. При закритті порожнин з'являється нормальнє навантаження і під виробленим простором. Максимум її розташову-

ється над серединою виробки, мінімум – в точці, де кривизна вигину шару міняє знак. Межа реакції по відношенню до даного шару розповсюджується до точки, де момент шару, що пролягає нижче, що вигинає, міняє знак.

Кожен шар порід має п'ять характерних точок, що визначають параметри епюри навантажень на даний шар. Місцеположення цих точок залежить від природних і тимчасових факторів, а також технологічних параметрів [5].

У прийнятій моделі для розрахунку напружене-деформованого стану (НДС) порід при підробці і надпрацюванні необхідно спочатку встановити абсциси характерних точок, потім визначити нормальні навантаження і реакції в цих крапках, ухваливши лінійний закон їх розподілу.

Для встановлення параметрів затискання шару використана розрахункова схема у вигляді напівнескінченної балки-смужки на податливій підставі, завантаженою зосередженою силою і власною вагою вищестоящих порід. На основі цієї схеми встановлений зв'язок між параметрами затискання, жорсткістю шару, податливістю підстави (тривалою міцністю пласта або вміщаючих порід), глибиною залягання і часом.

Абсциси решти точок пов'язані з місцеположенням точок, де кривизна вигину шаруючи або момент, що вигинає, міняють знак, а також довжиною граничного прольоту, залежного за інших рівних умов від потужності пласта, що виймається, і способу управління покрівлею. Встановити місцеположення цих крапок можливо за наявності закономірностей зміни поперечних сил, моменту, що вигинає, кутів нахилу поперечних перетинів і опускання шару при підробці або недоробці. З цією метою при відомих параметрах епюри навантаження і реакції даного шару породи інтеграцією її по ділянках отримані вирази зміни поперечних сил. Вони апроксимовані рядами Фур'є по синусах. Використовуючи загальновідомі положення опору матеріалів і граничні умови, встановлені вказані вище закономірності, в яких основними величинами є коефіцієнти ряду Фур'є, пов'язані з параметрами епюри навантаження і реакції даного шару.

Для визначення параметрів епюри навантажень і встановлення закономірностей, необхідних для детального розрахунку напружене-деформованого стану будь-якого шару порід, початковими даними є стратиграфічний розріз порід по розвідувальній свердловині, що включає глибину залягання шарів породи підошви і покрівлі, їх нормальну потужність, тип, кут падіння, потужність пласта, що виймається. Крім того, до початкових даних відносяться технологічні параметри і тимчасові фактори.

Аналітичне визначення технологічних параметрів та напружень. Основною метою проведення моделювання є визначення закономірностей впливу швидкості посування лави на напружене – деформований стан масиву гірських порід навколо очисної виробки для безпечної ведення гірничих робіт при відпрацюванні тонких вугільних пластів.

Для аналітичного визначення технологічних параметрів та напружень при високошвидкісному вийманні тонких вугільних пластів, як зазначено вище, буде використовуватися комплекс програмного забезпечення до ПЕОМ для визначення напружене – деформованого стану порід шаруватого гірського масиву при веденні гірничих робіт.

Проте основним недоліком цього методу та побудованої на його основі програмного забезпечення є неможливість дослідження технологічних параметрів та напружень при швидкостях посування очисного вибою більше 5 м/добу. Виходячи з рівнянь рішення поставленої задачі визначення впливу швидкості посування очисного вибою на стан гірського масиву і деформаційної характеристики бічних порід не має подальшого визначення при значеннях цього параметру понад 5 м/добу. Це пояснюється тим, що визначник квадратичної матриці перетворюється у 0 або 1 і далі досліджувані параметри не змінюються.

Щоб дослідити потрібні параметри та напруження при високій швидкості посування лави необхідно розглянути наступне математичне завдання. Відомі значення деякої функції f утворюють таблицю:

Таблиця 1
Значення функції f .

x	x_1	x_2	x_n
$f(x)$	y_1	y_2	y_n

Необхідно побудувати аналітичну залежність $y = f(x)$, що найближче описує результати експерименту. Побудуємо функцію $y = f(x, a_0, a_1, \dots, a_k)$ так, щоб сума квадратів відхилень змірюваних значень y_i від розрахункових $f(x_i, a_0, a_1, \dots, a_k)$ була найменшою (рис 1).

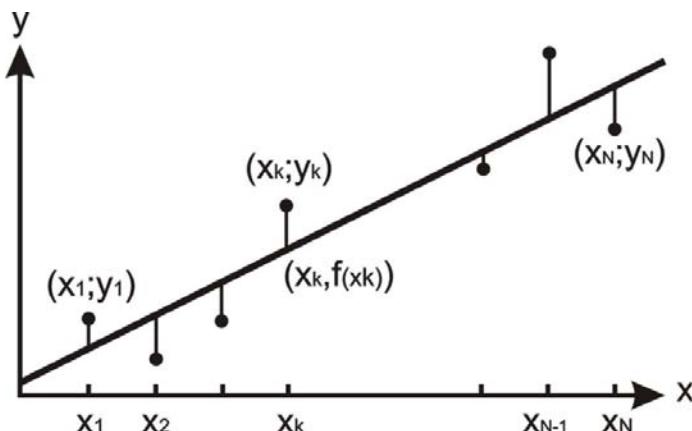


Рис 1. Графік функції $y = f(x, a_0, a_1, \dots, a_k)$

Математично це завдання рівносильне наступній: знайти значення параметрів $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$, при яких функція набуває більш мінімального значення.

$$S(a_0, a_1, \dots, a_k) = \sum_{i=1}^n [y_i - f(x_i, a_0, a_1, \dots, a_k)]^2. \quad (1)$$

Це завдання зводиться до вирішення системи рівнянь:

$$\frac{ds}{da_0} = 0; \quad \frac{ds}{da_1} = 0; \quad \frac{ds}{da_k} = 0; \quad (2)$$

Якщо параметри a_i входять в залежність $y = f(x, a_0, a_1, \dots, a_k)$ лінійно, то ми отримаємо систему лінійних рівнянь:

$$\frac{ds}{da_j} = 0; \quad \sum_{i=1}^n (-f(x_i, a_0, a_1, \dots, a_k)) \frac{df}{da_j} = 0; \quad j = 0, 1, \dots, k, \quad (3)$$

Вирішивши систему (3), знайдемо параметри a_0, a_1, \dots, a_k і отримаємо залежність $y = f(x, a_0, a_1, \dots, a_k)$.

Для подальших розрахунків необхідно визначити параметри функції $y = ax + b$, де залежне значення y – функція незалежного значення x , значення a – коефіцієнти, відповідні кожною незалежною змінною x , а b – постійна. При цьому необхідно звернути увагу, що y , x і a можуть бути векторами. Складемо функцію S :

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - ax_i - b]^2; \quad (4)$$

Продиференціюємо вираз (4) по a і b , сформуємо систему лінійних рівнянь, вирішивши які ми отримаємо наступні значення параметрів:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad b = \frac{n \sum x_i^2 y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}; \quad (5)$$

Підібрана пряма називається лінією регресії y на x , а a і b називаються коефіцієнтами регресії.

Чим менше величина

$$z = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2;$$

тим більше обґрунтовано припущення, що таблична залежність описується лінійною функцією. Існує показник, що характеризує тісноту лінійного зв'язку між x та y , який називається коефіцієнтом кореляції. Він розраховується по формулі:

$$r = \frac{\sum (x_i - M_x)(y_i - M_y)}{\sqrt{\sum (x_i - M_x)^2 \sum (y_i - M_y)^2}} = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n \sum (x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum (y_i^2 - (\sum y_i)^2))}}$$

Коефіцієнт кореляції r і коефіцієнт регресії a зв'язані співвідношенням:

$$a = \frac{Dy}{Dx} r$$

де D_y, D_x - середньоквадратичне відхилення значень x і y .

$$D_x = \frac{\sum (x_i - M_x)^2}{n} \quad M_x = \frac{\sum x_i}{n} \quad D_y = \frac{\sum (y_i - M_y)^2}{n} \quad M_y = \frac{\sum y_i}{n}$$

Значення коефіцієнта кореляції задовольняє співвідношенню $-1 \leq r \leq 1$. Чим менше відрізняється абсолютна величина r від одиниці, тим ближче до лінії регресії розташовуються експериментальні точки. Якщо коефіцієнт кореляції дорівнює нулю, то змінні x, y називаються некорельзованими. Якщо $r = 0$, то це тільки означає, що між x та y не існує лінійного зв'язку, але між ними може існувати залежність, відмінна від лінійної.

Для того, щоб перевірити, чи значущо відрізняється від нуля коефіцієнт кореляції, можна використовувати критерій Стьюдента. Обчислене значення критерію визначається по формулі:

$$t = \frac{\sqrt{n-1}}{\sqrt{1-r^2}}$$

Значення t порівнюється зі значенням, узятым таблиці розподілу Стьюдента відповідно до рівня значущості α і числом ступеню свободи $n-2$. Якщо t більше табличного, то коефіцієнт кореляції значущо відмінний від нуля.

За допомогою даної функції розраховуємо статистику для ряду із застосуванням методу найменших квадратів, щоб обчислити пряму лінію, яка щонайкраще апроксимує, наявні дані і потім повертає масив, який описує отриману пряму. Функцію також можна об'єднувати з іншими функціями для обчислення інших видів моделей, що є лінійними по невідомих параметрах, включаючи поліноміальні, логарифмічні, експоненціальні і статечні ряди. Оскільки повертається масив значень, функція повинна задаватися у вигляді формулі масиву. Якщо формула вводиться як формула масиву, то повертається наступна статистика по регресії, яка відображенна в таблиці 2.

Таблиця 2
Загальний вид статистики по регресії

	A	B	C	D	E	F
1	a_n	a_{n-1}	...	a_2	a_1	b
2	se_n	se_{n-1}	...	se_2	se_1	se_b
3	r_2	se_v				
4	F	d_f				
5	SS_{per}	SS_{oct}				

При цьому рівняння множинної регресії матиме наступний вигляд:

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b$$

При виконанні розрахунків по даній методиці для напруженодеформованого стану масиву гірських порід при високошвидкісному вийманні тонких вугільних пластів, а саме опускання, переміщення і деформації при швидкостях посування більш 5м/добу статистика по регресії матиме наступний вигляд, який представлений в таблиці 3.

Виходячи з таблиці 3, рівняння для подальших розрахунків матимуть вигляд:

$$y = 4,98x_1 - 13,78x_2 - 103,11x_3 + 135,7 \text{ - для опускань;}$$

$$y = 0,61x_1 - 0,17x_2 - 33,46x_3 + 37,83 \text{ - для деформацій;}$$

$$y = 0,67x_1 - 0,45x_2 - 66,19x_3 + 26,04 \text{ - для переміщень,}$$

при точності обчислень в 95,13%.

При існуючому підході не жорстко защемлених плит методу Національного гірничого університету вплив швидкості руху очисного вибою на величину опускання порід покрівлі визначається шляхом рішення відомим методом квадратичної матриці, з елементів, що вказують на кількість кроків довжин очисного вибою та швидкостей його посування.

Ці рівняння дають можливість з високим ступенем збіжності визначати названі величини при різних гірничо-геологічних умовах.

Таблиця 3

Вид статистики по регресії для розрахунку опускань, деформацій і переміщень при швидкості посування очисного забою понад 5 м/добу

А) для опускань:

	A	B	C	D
1	-103,108	-13,7818	4,982606	135,7039
2	90,85802	0,735477	6,677052	77,6003
3	0,951277	51,99709		
4	130,1622	20		
5	1055757	54073,94		

Б) для деформацій

	A	B	C	D
1	-33,4638	-0,17074	0,6058	37,83128
2	13,75248	0,122316	0,894216	11,71419
3	0,951277	51,99709		
4	5,790471	20		
5	856,1423	985,691		

В) для переміщень

	A	B	C	D
1	68,19412	-0,45259	0,664926	26,0395
2	101,8289	0,905677	6,621133	86,73652
3	0,951277	51,99709		
4	0,156762	20		
5	1270,729	54040,6		

Аналітичні дослідження та застосовані принципи і математичні механізми вимагають певної абсолютизації вихідних даних тому, для перевірки отриманих результатів автор передбачає проведення шахтних експериментальних досліджень поводження гірського масиву при збільшенні швидкості посування вибою понад 5 м/добу.

Висновок. При збільшенні швидкості посування очисного вибою змінюються деформаційні характеристики, що вимагають застосування існуючих підходів до зміни технологічної ситуації у лаві. Виходячи із проведеного дослідження досить точно оцінюється зрушення гірських порід за допомогою методики не жорстко защемлених балок, що була розроблена в Національному гірничому університеті і отримала назву «метод НГУ».

При посуванні очисного вибою зі швидкістю понад 5 м/добу необхідно вносити доповнення до згаданої методики. Це вирішується шляхом розв'язку диференційних рівнянь з використанням принципів лінійної регресії, на основі статистичних даних, отриманих при шахтних експериментальних дослідженнях. Дані диференційні рівняння вирішуються на основі складання квадратич-

них матриць, що вказують на кількість кроків довжин очисного вибою та швидкостей його посування. Визначені рівняння, дають можливість з високим ступенем збіжності встановлювати стан гірського масиву і деформаційні характеристики бічних порід. Ступінь достовірності отриманих результатів залежить від кількості введених до рівняння статистичних даних гірничо-геологічної будови масиву та параметрів техніко-технологічної ситуації очисного вибою.

Список літератури

1. Фисенко Л.Г. Некоторые вопросы сдвижения горных пород при разработке глубоких горизонтов угольных шахт // Исследования проявления горного давления на глубоких горизонтах.-Л.: Недра, 1971. – С. 337-346.
2. Борисов А.А. Механика горных пород и массивов.- М.: Недра, 1980. – 360 с.
3. Савостьянов О.В., Клочков В.Г. Керування станом масиву гірських порід. Навчальний посібник. – К.: НМК ВО, 1992. – 276с.
4. Савостьянов А.В. Управление состоянием массива горных пород. ДГИ. – Д.: 1984. – 164 с. – Деп. в УкрНИИНТИ 1984, № 383Ук-84.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бузилом В.І.
Надійшла до редакції 10.11.10*

УДК 624.159.1 +539.3

© Н.В.Зуєвська

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИБУХОВОГО АРМУВАННЯ ПРОСАДНОГО ГРУНТУ ЖОРСТКИМ ЗАПОВНЮВАЧЕМ

Розглянуто математичне моделювання процесу армування просадних лесових ґрунтів шляхом впровадження в них твердого матеріалу (щебеню) за допомогою енергії вибуху.

Рассмотрено математическое моделирование процесса армирования просадочных лессовых грунтов путем внедрения в них твердого материала (щебня) с помощью энергии взрыва.

The mathematical simulation is considered process of reinforcing of settlement loess soils by introduction in them of hard material (crushed stone) by energy of explosion.

Задачі з дослідження особливостей взаємодії проникаючого тіла і природного середовища часто виникають на практиці. Теорія удару з великими швидкостями вперше була розроблена К.П. Станюковичем, Х.А. Рахматулліним, Зельдовичем і Райзером [1 - 3]. Цій темі присвячені численні дослідження [4,5], де приймаються різні гіпотези про взаємодіючі об'єкти.

В роботі розглядається математична модель проникнення щебеню в ґрунтовий масив при динамічному впливі на нього вибуху циліндричного заряду ВР (рис 1), що дозволяє описувати напружено-деформований стан ґрунту і частинок щебеню при різних фізико-механічних і геометричних параметрах аналізованих об'єктів.

При цьому процес розбивається на два етапи. На першому етапі розглядається рух частинок щебеню і продуктів вибуху при миттєвій хвильової детонації. На другому досліджується процес руху щебеню та ґрунту.

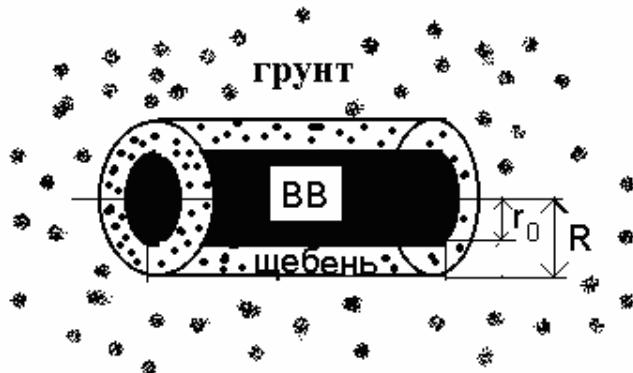


Рис. 1. Циліндричний заряд хімічної вибухової речовини (ВР), поміщеної в порожнину, заповнену щебенем, розташовану в ґрутовому масиві

]Постановка задачі про метання щебеню в ґрунт за допомогою вибуху циліндричного заряду ВР здійснювалася наступним чином. Щоб виключити вплив кінців заряду і нерадіальність розльоту продуктів детонації, заряд вважався нескінченим, а детонація - миттєвою. Після вибуху заряду ВР продукти детонації (ПД) розширяються і захоплюють за собою частки щебеню, прискорюючи і прогріваючи їх до високої температури. Після того як продукти вибуху досягають кордону з ґрунтом, виникає відображенна ударна хвиля, яка призводить до гальмування частинок. Ступінь гальмування визначається параметрами відбитої хвилі і частинок щебеню. Очевидно, що більш дрібні частинки повинні відчувати більш сильне гальмування.

Розліт продуктів детонації повинен описуватися стандартними рівняннями динаміки суцільного середовища, що стискається. Ці рівняння у формі законів збереження маси, імпульсу і енергії для випадку циліндричної симетрії мають вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho x) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho ux) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho ux) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho u^2 x + px\right) = p, \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho x\left(E + \frac{u^2}{2}\right)\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(\rho ux\left(E + \frac{u^2}{2} + \frac{p}{\rho}\right)\right) = 0, \quad (3)$$

де ρ , u , E , p - щільність, швидкість, внутрішня енергія і тиск газу; x - просторова координата; t - час.

Рівнянням стану ПД є рівняння стану ідеального газу

$$p = \rho RT \quad (4)$$

де R - універсальна газова стала; T - температура газу.

Система рівнянь (1) - (4) є замкнутою системою для визначення термодинамічних величин ПД. Для чисельного розв'язання поставленої задачі використовувалася неявна різницева схема "предиктор-коректор", стійка при будь-якому відношенні $\Delta t / \Delta h$ [6,7].

Використовувана різницева схема вимагає запису рівнянь руху суцільного середовища в характеристичній формі, яка для випадку циліндричної симетрії має вигляд:

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial t} \right) + (u + c) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = - \frac{uc}{x} \quad (5)$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial t} - \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial t} \right) + (u - c) \left(\frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{\rho c} \frac{\partial p}{\partial x} \right) = \frac{uc}{x} \quad (6)$$

$$\frac{\partial S}{\partial t} + u \frac{\partial S}{\partial x} = 0 \quad (7)$$

де c - швидкість звуку; S - ентропія.

Вважається, що всі частки щебеню під дією продуктів вибуху, що розширяються, рухаються компактною зоною, тобто що параметри і координати всіх частинок близькі між собою, і їх можна описати параметрами однієї "міченої" частинки з даного шару.

Рівняння руху міченої частинки має вигляд:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{2} \pi r^2 \rho_2 C_s |u - v| (u - v) \quad (8)$$

де m - маса частинки; x - просторова координата частинки; t - час; r - радіус частинки; C_s - коефіцієнт опору; ρ_2 - щільність матеріалу частинки; u - швидкість ПД; v - швидкість частки щебеню.

Враховуючи, що для маси і швидкості частки маємо вираз

$$m = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_2, \frac{dx}{dt} = v \quad (9)$$

Отримаємо рівняння, що визначає швидкість частки від часу:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{3 \rho_2 C_s |u - v|}{8r \rho_2} \quad (10)$$

де C_s - коефіцієнт опору, що залежить від числа Рейнольдса частинки.

В розрахунках приймалося, що діаметр заряду ВР становив $d_0 = 0,04$ м, діаметр свердловини складав $d_{cкв} = 0,250$ м. Як ВР використовувався амоніт № 6ЖВ. Детонаційні характеристики амоніту № 6ЖВ наступні: $P_n = 3.248 \cdot 10^9$ Па; $\rho_n = 1000 \text{ кг/m}^3$; $D_0 = 4340 \text{ м / с}$; $Q = 1030 \text{ ккал / кг}$; $\gamma = 1,25$.

Фізико-механічні характеристики щебеню: $\rho_0 = 1800 \text{ кг / м}^3$ - щільність при атмосферному тиску; $\rho = 1900 \text{ кг/m}^3$ - щільність матеріалу частинок. Діаметр частинок щебеню приймався рівним 20 і 40 мм. Відзначимо, що при діаметрі частинки щебеню рівному 20 мм, по радіусу порожнини міститься 5 - 6 частинок, а при діаметрі рівному 40 мм - 3 частинки, відповідно.

На рис. 2 наведені профілі швидкості в системі «ПД - щебінь» в різні моменти часу при вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ. По осі ординат відкладені значення функції в системі СІ, а по осі абсцис - відстань від осі заряду до кордону свердловини з ґрунтом.

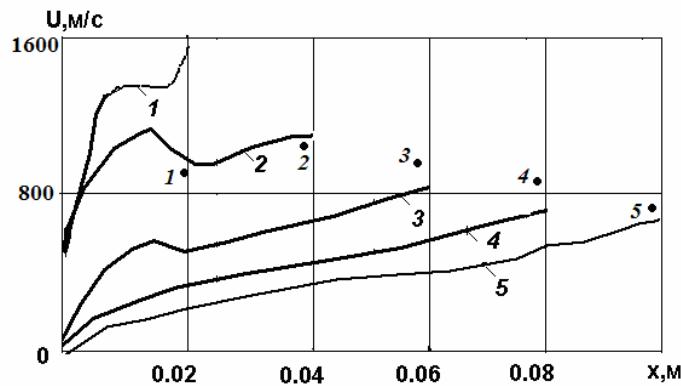


Рис.2. Розподіл швидкості під час вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ в різні моменти часу: 1 - вихід ударної хвилі на межу «продукти детонації - щебінь»; 2, 3, 4, 5 - вихід хвилі на відповідну частку щебеню (діаметр частинки дорівнює 20 мм)

З рис. 2 видно, що частки щебеню, що безпосередньо примикають до ПД, набувають швидкість близько 1000 м/с. Далі ця швидкість зростає незначно, але починає перевищувати швидкість ПД. З аналізу залежностей також випливає, що при досягненні хвилею кордону зі щебенем відбувається стрибок швидкості, обумовлений виходом хвилі з менш щільного середовища в більш щільне середовище (ефект відбиття від твердої стінки). При цьому виникає відображення ударна хвиля, яка гальмує потік газу, що набігає. Фронт відбитої ударної хвилі рухається від контактного розриву «ПД - щебінь» до осі заряду зі зміненою швидкістю, що є наслідком зміни набігаючого потоку газу. Область відбитої ударної хвилі істотно впливає на швидкість частинок щебеню, приводячи до їх різкого гальмування. Після проходження часткою щебеню зони відбитої ударної хвилі її швидкість зменшилася більш, ніж на 250 м/с.

На рис. 3 представлена профілі тиску за фронтом розширяються продуктів вибуху для розглянутого вище випадку.

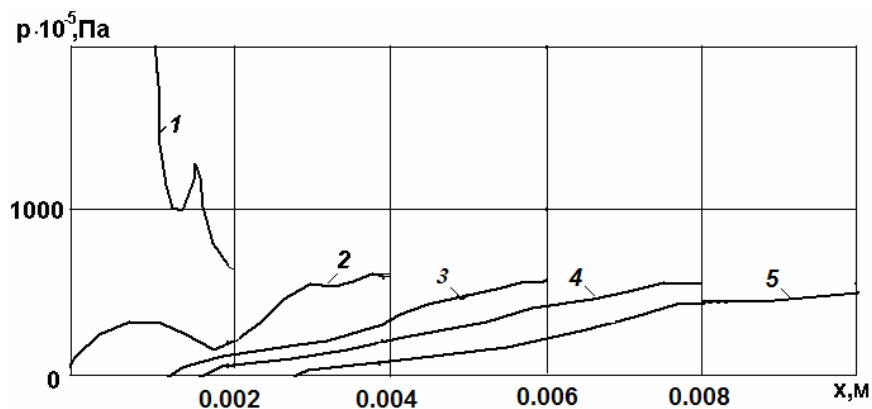


Рис. 3. Розподіл тиску при вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ в різні моменти часу: 1 - вихід ударної хвилі на кордон «продукти детонації - щебінь»; 2, 3, 4, 5 - вихід хвилі на відповідну частку щебеню (діаметр частинки дорівнює 20 мм)

При порівнянні результатів чисельного розрахунку для тих же параметрів заряду та типу ВВ, але радіус частинок щебеню збільшено в 2 рази було встановлено, що хвильові процеси протікають за подібною схемою, але при

збільшенні діаметру частинок щебеню відбувається зниження швидкості на 400 м/с. Це пояснюється тим, що такі великі частки не встигають набрати достатньої швидкості в початковий момент руху, коли швидкість розльоту продуктів детонації найбільша. Очевидно, що зі збільшенням діаметра частинок щебеню буде відбуватися подальше зменшення визначальних параметрів руху.

Далі проводилися чисельні розрахунки з метою з'ясування впливу детонаційних характеристик ВР на процес руху системи «продукти детонації - щебінь». Для цього було проведено порівняння вибуху циліндричного заряду амоніту № 6ЖВ та для вибуху циліндричного заряду грамоніту 79/21. Інші параметри залишилися колишніми. Було встановлено, що основні закономірності розвитку хвильових процесів у системі «продукти детонації - щебінь» зберігаються, проте під час вибуху заряду грамоніту 79/21 відбувається зменшення швидкості їх підльоту до стінки порожнини на 350 м/с і тиску на $5 \cdot 10^7 \text{ Па}$.

Результати чисельного розрахунку хвильових процесів у лесовидному суглинку при проникненні щебеню з різним вмістом компонентів. Фізико - механічні характеристики ґрунту наступні [8]: $\rho_{20} = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\rho_{30} = 2650 \text{ кг/м}^3$; $c_{20} = 1500 \text{ м/с}$, $c_{30} = 4500 \text{ м/с}$; $\gamma_2 = 7$; $\gamma_3 = 4$; $\rho_0 c_s^2 = 3 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\rho_0 c_D^2 = 3.67 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\rho_0 c_{SR}^2 = 3 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $m = 3$; $k = -1.2 \cdot 10^7 \text{ Па}$; $\gamma_S = 4$; $\gamma_D = 6$; $\gamma_{SR} = 8$; $\eta_D = 2000 \text{ Па}\cdot\text{с}$; $\alpha_1 = 0,1 \dots 0,4$; $\alpha_2 = 1 - (\alpha_1 + \alpha_2)$; $\alpha_3 = 0,6$; $y_0 = 0,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\tau = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $\tau = 12 \cdot 10^6 \text{ Па}$.

При проникненні частинок щебеню в ґрунт за останнім починає поширюватися ударна хвиля. На рис. 4 показані залежності радіальних напружень ґрунту від відстані.

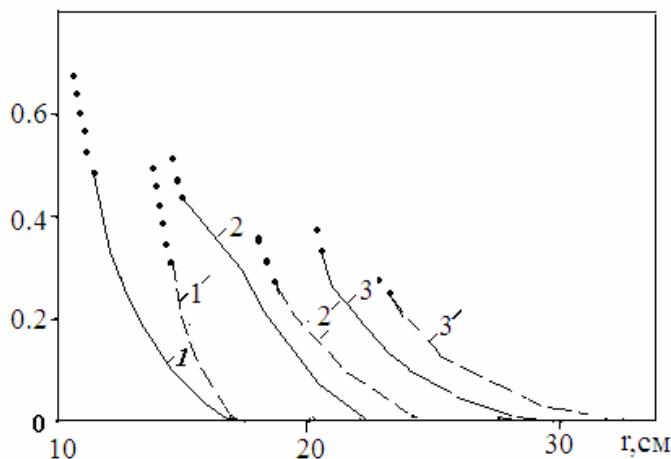


Рис. 4. Залежність радіальних напружень ґрунту від відстані при вибуху заряду амоніту № 6ЖВ при різних діаметрах частинок щебеню: 1, 1' – $R=20 \text{ мм}$, 2, 2' – $R=40 \text{ мм}$, 3, 3' – $R=70 \text{ мм}$. Суцільні лінії відповідають ґрунту з $\alpha_1 = 0,1$; штрихові – $\alpha_1 = 0,3$; чорні точки – частинкам щебеню.

З малюнка видно, що в початковий момент часу при ударі щебеню о ґрунт відбувається генерації ударної хвилі. Для одних і тих же діаметрів частинок щебеню великі значення радіальних напружень досягаються в ґрунті з меншим вмістом порового простору, тобто з більшою щільністю. Це пояснюється тим,

що в такому середовищі дисипативні втрати при поширенні хвилі, пов'язані з в'язкими властивостями, менше, ніж у більш пористому середовищі.

На поверхні частинок максимальні нормальні напруги більше, ніж у ґрунті, і чим пізніше частка потрапляє в ґрунт, тим більше у неї напругу. Це пояснюється тим, що при впливі продуктів детонації на щебінь, частинки, які знаходяться ближче до газової порожнини, отримують значний початковий тиск. При збільшенні діаметра частинок відбувається падіння напруги як в ґрунті, так і на самі частки, що є закономірним, тому що більші частки при впливі на них тиску з боку продуктів детонації спочатку отримали менший тиск. Однак великі частинки, маючи велику інерцію, проникають в ґрунт на великі відстані: для частинок діаметром 20 мм - це відстань становить 12 - 15 см, для 40 мм - 16 - 40 см, для 70 мм - 23 - 25 см. Але у відносних відстанях частки діаметром 20 мм проникнуть в ґрунт на глибину, рівну $6 - 7,5 R$, частинки діаметром 40 мм на $4 - 5 R$, частинки діаметром 70 мм - на $3 - 4,5 R$.

Зазначену закономірність можна простежити і на рис. 5. де в логарифмічних координатах наведені залежності максимальної швидкості частинок щебеню в ґрунті з $\alpha_1 = 0,1$

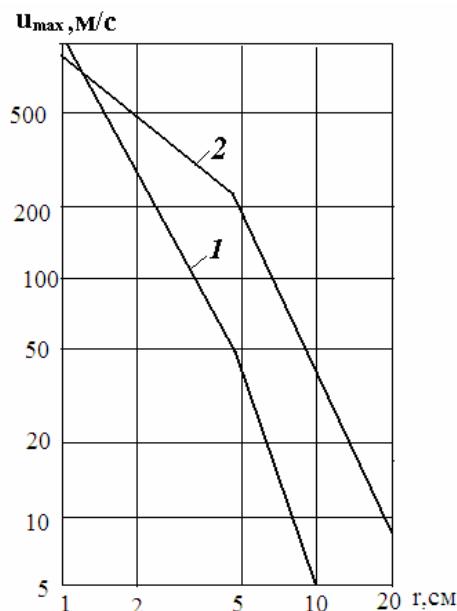


Рис. 5. Залежності максимальної швидкості частинок щебеню в ґрунті при про-
никненні частинок різного діаметра: 1 - $R = 20$ мм, 2 - $R = 40$ мм.

З аналізу малюнка слідує, що маючи велику початкову швидкість, частинки меншого діаметра швидше гальмуються, що призводить до зниження їх швидкості і, як наслідок, до зменшення їхньої глибини проникнення в ґрунт.

Висновки. В результаті математичного моделювання проникнення щебеню в ґрунтний масив при динамічному впливі на нього вибуху циліндричного заряду ВР встановлено, що частинки щебеню меншого діаметру при впливі на них продуктів детонації розлітаються з більшою швидкістю і при більшому тиску в порівнянні з більш великими частками. Під час вибуху заряду амоніту № 6ЖВ ці параметри вище, ніж при вибуху грамоніту 79/21, який володіє меншими детонаційними характеристиками.

Для одних і тих же діаметрів частинок щебеню великі значення радіальних напружень досягаються в ґрунті з меншим вмістом порового простору, тобто з більшою щільністю.

При збільшенні діаметра частинок відбувається падіння напруги як в ґрунті, так і на самі частки, але великі частки проникають в ґрунт на великі відстані. Глибина проникнення для розглянутих діаметрів складає від 3 до 7,5 діаметрів.

При проникненні щебеню в ґрунт відбувається його ущільнення, причому на однакових відстанях великі значення об'ємної деформації досягаються в ґрунті з більшою вільною пористістю.

Список літератури

1. Зельдович Я.Б. Движение газа под действием кратковременного давления (удара) //Акустический журнал, № 1, вып. 28, 1956. – С. 31 -38.
2. Станюкович К.П. Неустановившиеся движения сплошной среды. М.: «Наука», 1971. – 854 с.
3. Рахматуллин Х.А., Шапиро Г.С. распространение возмущений в нелинейной упругой среде // Изв.АН СССР,ОТН, №2, 68, 1955. – С. 23 – 31.
4. Александров Е.В., Соколинский В.Б. Прикладная теория и расчеты ударных систем. М.: Наука, 1969. – 200с.
5. Сагомонян А.Я. Проникание. М.: Из-во Моск. ун-та, 1974.
6. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989. - 543 с.
7. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. М.: Наука, 1989. – 256 с.
8. Механический эффект взрыва в грунтах / Лучко И.А., Плаксий В.А., Ремез Н.С. и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Соболевим В.В.
Надійшла до редакції 10.11.10*

УДК 622.235.67:504.3

© В.В. Марченко, Я.Я. Лебедев, Г.П. Кривцун

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИНОСУ ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК З ПІДІРВАНОЇ ГІРСЬКОЇ МАСИ В АТМОСФЕРУ РОБОЧИХ ПЛОЩАДОК КАР'ЄРУ

Приведены результаты исследований процесса накопление вредных примесей в свободном пространстве взорванной горной массы и выноса их в атмосферу рабочих площадок карьера.

Приведені результати досліджень процесу накопичення шкідливих домішок в вільному просторі підірваної гірської маси і виносу їх в атмосферу робочих площацок кар'єру.

The results of researches of process are resulted accumulation of harmful admixtures in free space of the mountain mass and bearing-out of them blown up in the atmosphere of working grounds of quarry.

Вступ. Одним з головних напрямків технічного прогресу в гірничодобувній промисловості є переважний розвиток відкритого способу розробки родовищ. Завдяки розвинутій індустріальній базі України і значним запасам корисних копалин, розташованих на незначних глибинах, цим способом у даний час видобувається більш 75% від загального обсягу твердої мінеральної сировини, споживаної промисловістю.

Розвиток видобутку корисних копалин відкритим способом пов'язаний з впровадженням сучасних засобів і методів ведення гірничих робіт, підвищенням концентрації і інтенсифікації очисних робіт. Всі ці зміни істотно впливають на якість повітря робочих зон видобувних дільниць і кар'єрів в цілому.

Аналіз причин нещасних випадків і професійних захворювань показав, що одною з них є велика кількість випадків асфіксії кар'єрного персоналу оксидом вуглецю, який виділяється при вторинному виході його в кар'єру атмосферу з відбитої гірської маси.

Поліпшити умови праці за сучасної технології ведення відкритих гірничих робіт можливо лише шляхом розробки способів і засобів, які враховують наявний стан умов праці робітників кар'єру та особливості основних технологічних процесів в кар'єрах з різними умовами.

Вивченню процесів, які відбуваються в кар'єрному середовищі при відкритій розробці родовищ корисних копалин, присвячена значна кількість досліджень. Відомо, що масові вибухи при видобутку корисних копалин значно впливають на склад повітря робочих зон кар'єрів, де здійснюється навантаження автосамоскидів і транспортування гірської маси. Проте, дотепер, при контролюванні якості повітря після масових вибухів, не враховуються вторинні викиди оксиду вуглецю, що призводить до нещасних випадків пов'язаних з отруєнням робітників.

Вищеперечислене обумовлює актуальність проведення досліджень спрямованих на поліпшення умов праці на робочих місцях.

Постановка задачі. Для встановлення закономірностей процесів, які впливають на санітарно-гігієнічні умови праці в робочих зонах площацок кар'єру і розробки на їхній основі способів і засобів, що забезпечують нормативні параметри середовища при основних технологічних процесах у кар'єрах необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити математичну модель газодинамічних явищ у підірваній гірській масі, які виникають після регламентованого за часом провітрювання робочої зони кар'єру;

- визначити кількісні і якісні характеристики явищ виносу шкідливих домішок в атмосферу кар'єра з метою врахування їх при розробці засобів і заходів поліпшення умов праці на робочих місцях.

Результати роботи.

Для з'ясування причин суттєвого підвищення концентрації токсичних домішок в атмосфері робочих площацок кар'єру після регламентованого за часом провітрювання робочих місць, що виникають у процесі екскавації гірської маси, були проведенні дослідження. У результаті досліджень було встановлено, що виділення оксиду вуглецю з підірваної гірської маси відбувається згідно з першим законом Фіка, який для одномірного стаціонарного випадку є основним законом концентраційної дифузії [1]

$$j = -D \left[grad \ c \right] = -D \frac{dc}{dl} \quad (1)$$

де j – щільність дифузійного потоку, $1/(c \cdot m^2)$; D – коефіцієнт дифузії, m^2/c ; dl - відстань між обсягами, які дифундують m .

Різниця в кількості газу у вільному просторі між кусками підрваної гірської маси c і в мікропорах (тріщинах) c_1 складає $\Delta c = c - c_1$.

Витікання газу з підрваної гірської маси відбувається доти, поки тиск у макро- і мікропорах не стане дорівнювати атмосферному тиску. В зв'язку з вищеведеним початкові й граничні умови процесу витікання токсичного газу з мікропор гірської маси в її вільний простір представляються наступною математичною моделлю:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} D \operatorname{grad} c - c_1 &= f(c, a), \quad p > 0, \quad \tau > 0, \\ \frac{\partial a}{\partial \tau} &= f(c, a), \quad p > 0, \quad \tau > 0, \\ c &= 0, \quad a = 0, \quad p > 0, \\ D \frac{\partial c}{\partial x} \beta(c_0 - c), \quad p > 0, \quad \tau > 0, \end{aligned} \tag{2}$$

де $\partial a / \partial \tau = f(c, a)$ – рівняння кінетики десорбції з урахуванням прийнятого допущення в тім, що з мікропор десорбується один компонент; τ – час виділення відносної кількості газу з частки підрваної гірської маси, хв.; p – тиск газу, Па; β – коефіцієнт зовнішнього масообміну, віднесений до одиниці обсягу сорбенту (підрваної гірської маси); a – концентрація токсичного газу в складі сорбенту, g/cm^3 ; a_0 – початкова концентрація токсичного газу в складі сорбенту, g/cm^3 ; c – концентрація токсичного газу в складі рухливої суміші, g/cm^3 ; c_0 – початкова концентрація токсичного газу в складі рухливої суміші, g/cm^3 .

До кінетики сорбційних процесів правомірний такий же підхід, як і до гетерогенних, де розрізняють два граничних випадки взаємодії рухливого і нерухомого середовищ: дифузійну і хімічну кінетики [2]. При дифузійній кінетиці, швидкість сорбції обмежується швидкістю дифузії часток, які сорбуються до місць сорбції і залежить від швидкості потоку, щільності, в'язкості, маси часток, геометричних факторів. Дифузійна кінетика при наявності внутрішньої пористості, підрозділяється на дві стадії (зовнішню і внутрішню дифузії). На зовнішньодифузійну стадію істотно впливає гідродинамічний режим, а на внутрішню дифузію визначальний вплив мають геометричні параметри, які характеризують молекулярну внутрішньопорову дифузію [3].

При лінійній задачі $f(c, a) = \gamma c - u a$, где γ и u - постійні величини, що визначають швидкість збільшення і зменшення концентрації шкідливого газу в складі сорбенту.

Величина питомої поверхні є однією з найбільш важливих характеристик сорбенту [4], що визначається фізичною структурою сорбенту і його фракційним складом.

Для усереднення задачі (1) використовуємо формулу Гауса-Остроградського і з урахуванням граничних умов, одержимо задачу Коші для системи двох звичайних нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку відносно середніх значень $c(\tau)$ и $a(\tau)$

$$\begin{aligned} \frac{d\bar{c}}{d\tau} + \beta\bar{c} \frac{\partial S}{S} &= \beta c_0 \frac{\partial S}{S} - f(\bar{c}, \bar{a}), \quad \tau > 0, \\ \frac{d\bar{a}}{d\tau} - f(\bar{c}, \bar{a}) &= 0, \quad \tau > 0 \\ \bar{c}(0) = 0, \quad \bar{a}(0) &= a_0 \end{aligned} \tag{2}$$

З урахуванням прийнятих допущень $c=c(\delta, \tau)$ і відповідно до (1) лінійна задача записується в наступному виді

$$\begin{aligned} D \frac{1}{\delta^2} \frac{\partial}{\partial \delta} \left(\delta^2 \frac{\partial c}{\partial \delta} \right) - \frac{\partial c}{\partial \tau} &= \gamma c - ua, \quad 0 < \delta < d, \quad \tau > 0, \\ \frac{\partial a}{\partial \tau} &= \gamma c - ua, \quad 0 < \delta < d, \quad \tau > 0, \\ c(\delta, 0) = 0, \quad a(\delta, 0) &= a_0, \quad 0 < \delta < d, \quad c(0, \tau) \leftarrow \infty, \quad \tau > 0, \\ D \delta^2 \frac{\partial c}{\partial r} &= \beta \delta^2 (c_0 - c), \quad \delta = d, \quad \tau > 0. \end{aligned} \tag{3}$$

де δ і d - відповідно, діаметр мікропор і фракції підірваної маси, см.

З урахуванням припущення, що $C = \delta c$, $A = \delta a$ для $C(\delta, \tau)$ и $A(\delta, \tau)$ початкові граничні умови мають вид

$$\begin{aligned} D \frac{\partial^2 C}{\partial \delta^2} - \frac{\partial C}{\partial \tau} &= \gamma C - ua, \quad 0 < \delta < d, \quad \tau > 0, \\ \frac{\partial A}{\partial \tau} &= \gamma C - ua, \quad 0 < \delta < d, \quad \tau > 0, \\ C(\delta, 0) = 0, \quad A(\delta, 0) &= \delta a_0, \quad 0 < \delta < d, \quad C(0, \tau) = 0, \quad \tau > 0, \\ D \left(\delta \frac{\partial c}{\partial \delta} - C \right) &= \beta \delta (\delta c_0 - C), \quad \delta = d, \quad \tau > 0. \end{aligned} \tag{4}$$

Допускаючи, що оксид вуглецю не вступає в хімічні реакції, обмежуємося випадком, $\gamma = 0$, $c_0 = 0$, коли $A(\delta, \tau) = a_0 \delta e^{-u\tau}$, а $C(\delta, \tau)$ визначається як рішення задачі

$$\begin{aligned} D \frac{\partial^2 C}{\partial \delta^2} - \frac{\partial C}{\partial \tau} &= -\frac{ua_0 \delta}{e^{u\tau}}, \quad 0 < \delta < d, \quad \tau > 0, \\ C(\delta, 0) = 0, \quad C(0, \tau) &= 0, \quad \tau > 0, \\ D \frac{\partial c}{\partial \delta} - \frac{DC}{d} + \beta C &= 0, \quad \delta = d, \quad \tau > 0. \end{aligned} \tag{5}$$

Знаходимо рішення задачі (5) і задачі (3) при $\gamma = 0$ методом поділу перемінних

$$c(\delta, \tau) = 2\beta u a_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left[\exp\left(\gamma_n^2 D \tau\right) - \exp(u \tau) \right] \left[\gamma_n^2 d^2 D^2 + (D - \beta d)^2 \right]^{0.5} \sin(\gamma_n \delta)}{\exp(u \tau - \gamma_n^2 D \tau) \left(\gamma_n^2 D - u \right) \left[\gamma_n^2 d D^2 - \beta(D - \beta d) \right] \gamma_n \delta} \tag{6}$$

$$0 \leq \delta \leq d, \quad \tau \geq 0.$$

$$\gamma_n \text{ є коренями рівняння } tg(\gamma_n d) = \frac{D}{\beta} \gamma_n.$$

Вираження (5) дозволяє визначити інтенсивність потоку шкідливого газу з одиниці поверхні

$$J(\tau) = 2\beta^2 u a_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{D \gamma_n [\exp(-u\tau) - \exp(-\gamma_n^2 D \tau)]}{\gamma_n (\gamma_n^2 D - u) [\gamma_n^2 d D^2 - \beta(D - \beta d)]} \quad (7)$$

Кількість речовини $q(\tau)$, що виділяється до моменту часу τ визначається з вираження

$$q(\tau) = 0,43 \cdot \pi d^2 a_0 \left\{ d - 4,7 \cdot \beta^2 u D \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\gamma_n^2 D \exp(-u\tau) - u \exp(-\gamma_n^2 D \tau)}{u \gamma_n^2 D (\gamma_n^2 D - u) [d(\gamma_n^2 D^2 + \beta^2) - \beta D]} \right\} \quad (8)$$

Для усередненої концентрації $\bar{c}(\tau)$ при $D=const$ и $A(c, a)=-ua$ з вираження (2) одержуємо задачу Коші

$$\frac{d\bar{c}}{d\tau} + \left(\frac{D}{\beta d} \right)^2 \bar{c} = \left(\frac{D}{\beta d} \right)^2 c_0 + u a_0 \exp(-u\tau), \quad \tau > 0, \quad \bar{c}(0) = 0, \quad (9)$$

Рішення задачі Коші можна представити в наступному виді:

$$\bar{c}(\tau) = c_0 \left[1 - \exp \left(-\tau \frac{D^2}{\beta^2 d^2} \right) \right] + \frac{u a_0 \beta^2 d^2 \left[\exp(-u\tau) - \exp \left(-\frac{D^2}{\beta^2 d^2} \tau \right) \right]}{D^2 - \beta^2 d^2 u}, \quad \tau \geq 0 \quad (10)$$

Вираження для потоку шкідливого газу з одиниці площині поверхні частки підірваної гірської маси

$$J(\tau) = \beta [\bar{c}(\tau) - c_0], \quad \tau > 0$$

має вид

$$J(\tau) = \frac{\beta^3 d^2 u a_0 \left[\exp(-u\tau) - \exp \left(-\frac{4D^2 \tau}{\beta^2 d^2} \right) \right]}{4D^2 - \beta^2 d^2 u}, \quad \tau \geq 0 \quad (11)$$

Для визначення загальної кількості шкідливого газу, що виділився до моменту часу τ вираження має наступний вид:

$$q(\tau) = S a_0 - \frac{S a_0 (\beta d)^2 \left[4 \left(\frac{D}{\beta d} \right)^2 \exp(-u\tau) - \exp \left(-\frac{4D^2}{\beta^2 d^2} \tau \right) \right]}{4D^2 - \beta^2 d^2 u} \quad (12)$$

Винос токсичних газів, десорбованих у вільний простір між кусками підірваної гірської маси, в атмосферу площинок кар'єру здійснюється за законом Вікке [3], відповідно до якого, у випадку наявності збурювань, що порушують сталість концентрацій на границях зони, передній і задній фронти в залежності

від виду ізотерми деформуються (рис. 1). Тому на передньому фронті імпульсу спостерігається уповільнення наростання концентрації, а на задньому – уповільнення її падіння. При цьому на границях газової пробки спостерігається експонентний характер зміни концентрації (рис. 1, графік 2).

Процеси сорбції-десорбції газу на поверхні пористого середовища викликають додатково запізнювання виносу газу щодо моменту початку фільтрації, що приводить до зсуву вихідного імпульсу концентрації (рис. 1, графік 3).

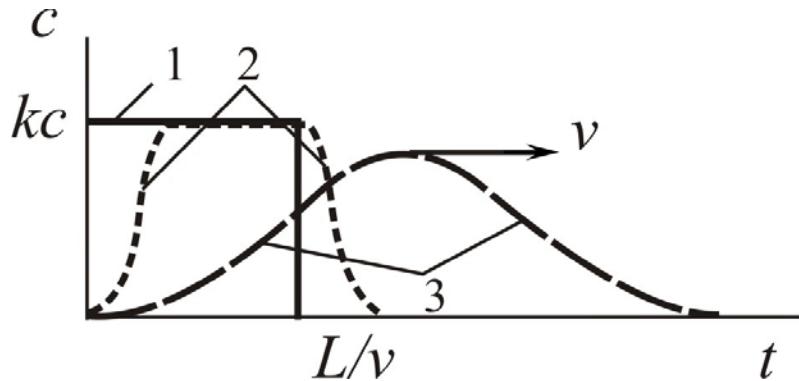


Рис. 1. Зміна концентрації газу в потоці носія на виході з пористого середовища: 1 – ідеалізований імпульс концентрації при відсутності перемішування; 2 – при обліку взаємодії (змішування) газу і фільтраційного повітря на їхніх границях; 3 – при додатковому урахуванні процесів сорбції-десорбції газу в середовищі підірваної гірської маси

Причому час запізнювання, а значить і час настання максимального значення концентрації газу, можуть істотно зміститися в часі в залежності від розмірів мікротріщин і сорбційних властивостей пористого середовища стосовно газу, що, у свою чергу, залежать від температури, тиску і вологості. У результаті зазначеного явища, винос токсичних газів, десорбованих у вільний простір між кусками підірваної гірської маси і, далі, в атмосферу робочих площадок кар'єру має імпульсний характер.

Адекватність вищезазначених процесів, процесам в умовах кар'єру підтверджується натурними вимірами, які виконувались після регламентованого за часом провітрювання співробітниками Криворізького ВГРЗ.

Висновки. На підставі виконаних досліджень теоретично обґрунтовано й експериментально встановлено, що при екскавації і транспортуванні підірваної гірської маси, на стан атмосфери на робочих площацках кар'єру, які примикають до заваленого простору, істотно впливає характер виносу десорбованих токсичних газів поглинених поверхнею відбитої гірської маси. Показано, що в результаті явища десорбції, концентрація оксиду вуглецю в атмосфері робочих площацок кар'єру змінюється в часі стрибкоподібно у виді імпульсів.

Розроблена математична модель процесу десорбції і накопичення токсичних газів у вільному просторі між кусками підірваної гірської маси і виносу їх в атмосферу робочих площацок кар'єру, на підставі якої отримані формули для визначення інтенсивності потоку і загальної кількості оксиду вуглецю що виділився до визначеного моменту часу.

Список літератури

1. Сахновский В.Л., Умнов А.Е., Куроченко В.М. Интенсификация проветривания глубоких подземных рудников. – М.: Недра, 1992. – 143 с.
2. Левич В.Г. Физико-химическая гидродинамика. – М.: Гос. из-во физ.-мат. лит., 1959. – 699 с.
3. Рачинский В.В. Введение в общую теорию динамики сорбции и хроматографии. – М.: Наука, 1964. – 136 с.
4. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. – М.: Химия, 1984. – 592с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бойком В.О.
Надійшла до редакції 08.10.10*

УДК 622.831.322:532.528

© Ю.А. Жулай, В.В. Зберовский

РЕШЕНИЕ КОНЦЕПТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ ГИДРОИМПУЛЬСНОГО РЫХЛЕНИЯ ВЫБРОСООПАСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В РЕЖИМЕ ПЕРИОДИЧЕСКИ-СРЫВНОЙ КАВИТАЦИИ

Рассмотрены проблемы статического и импульсного нагнетания жидкости, а также эффективность использования явления периодически-срывного кавитационного течения жидкости в устройстве импульсного воздействия при гидрорыхлении угольных пластов.

Розглянуто проблеми статичного і імпульсного нагнітання рідини, а також ефективність використання явища періодично-зривного кавітаційного потоку рідини в пристрої імпульсного впливу при гідророзпушуванні вугільних шарів.

The problems of static and pulse modes of fluid injection as well as efficiency of use of phenomenon of periodically stalling cavity fluid flow in pulsed device for hydraulic ripening of coal beds have been considered.

До настоящего времени основополагающим профилактическим мероприятием по борьбе с газодинамическим и пылевым факторами является статическое нагнетание жидкости в угольные пласты. В данных направлениях проведен большой объем научно-технических исследований, на основании которых разработаны нормативные документы, регламентирующие проведение, контроль и оценку эффективности этих работ [1]. Вместе с тем увеличение глубины освоения месторождений, изменение горно-геологических условий и свойств углепородного массива привели к значительному снижению эффективности профилактических мероприятий. При статическом нагнетании имеют место случаи спонтанного прорыва воды в выработанное пространство и преждевременного гидроотжима краевой части пласта с угрозой провоцирования газодинамического явления. Поэтому поиск новых решений в проведении профилактических мероприятий, основанных на гидровоздействии, продолжает оставаться актуальной задачей.

Эффективное решение данной проблемы стало возможным после ряда экспериментальных исследований импульсного нагнетания жидкости в угольный массив. Значимые результаты в этом направлении получены в Институте геотехнической механики (ИГТМ) НАН Украины при разработке новых способов и средств гидроимпульсного воздействия, основанных на явлении периодиче-

ски-срывного кавитационного течения жидкости. В промышленных условиях прошли опытную проверку устройство [2] и механизм гидроимпульсного воздействия [3], разработаны элементы технологических схем и параметры способа гидроимпульсного рыхления угольных пластов.

Целью данной работы является решение концептуальных задач гидроимпульсного рыхления выбросоопасных угольных пластов в режиме периодически-срывной кавитации в условиях больших глубин, где применение статического нагнетания жидкости малоэффективно.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Теоретическое обоснование параметров гидроимпульсного воздействия на угольный пласт;

2. Определение ожидаемых динамических характеристик высокочастотного генератора автоколебаний давления жидкости (зависимостей частоты и размаха кавитационных автоколебаний от параметра кавитации τ);

3. Экспериментальное определение характеристик генератора при различных давлениях на входе и выходе генератора;

4. Экспериментальное исследование характеристик УГИВ при его расположении в имитаторе скважины;

5. Горно-экспериментальное исследование УГИВ и оценка эффективности его применения в промышленных условиях.

Рассмотрим результаты исследований, полученных в процессе решения поставленных задач.

Обоснование гидродинамических параметров импульсного воздействия выполним с использованием данных работы [4], где скорость деформаций выражена в следующем виде

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{4\Delta P \cdot f}{E}, \quad (1)$$

где ε – линейная деформация угля; ΔP – импульсное давление; f – частота импульсов; E – модуль упругости угля; 4 – коэффициент, определяемый из условий равенства между собой длительности и скважности, длительностей возрастания и затухания импульса (рис. 1а).

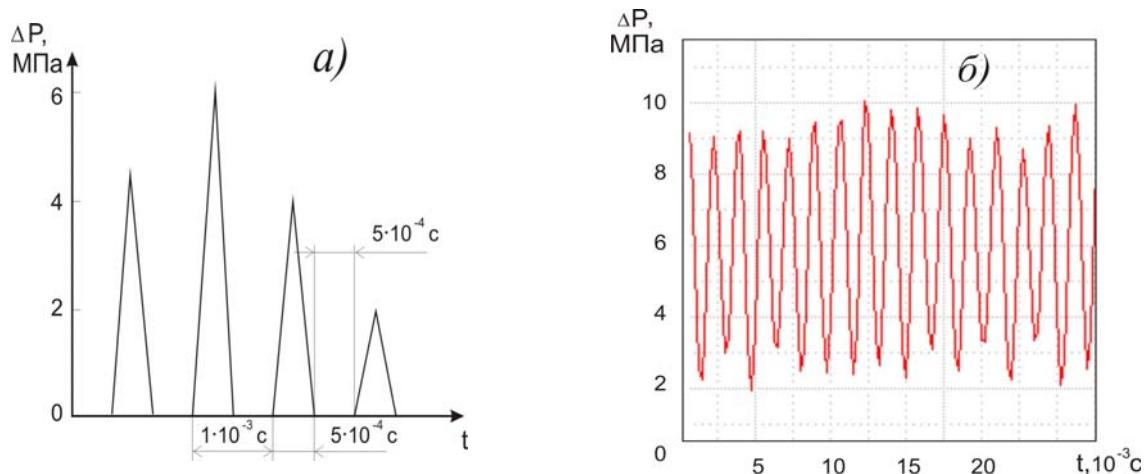


Рис.1. Изменение импульсного давления во времени

Однако многочисленные экспериментальные исследования, выполненные авторами работы, показали, что зависимость изменения импульсов давления во времени, генерируемых УГИВ (рис. 1б) имеет отличия. К ним следует отнести следующие: частота следования импульсов почти на порядок превышает частоту, полученную ранее [5]; отсутствие скважности импульсов. Учитывая выше-сказанное и то, что с увеличением скорости деформации, более 480-500 1/с, значение коэффициента трения стабилизируется, выражение (1) приобретает следующий вид:

$$f = \frac{60E}{\Delta P}. \quad (2)$$

Так как гидроимпульсное воздействие на пласт приводит к зарождению и развитию трещин, наклонных к напластованию, и направлено на трещинообразование в зонах с малой гидравлической проницаемостью угля, значение модуля упругости принимается исходя из условия сжатия по напластованию. Для большинства шахтных пластов наиболее вероятны значения модуля упругости при сжатии от $3 \cdot 10^2$ МПа до $5 \cdot 10^2$ МПа. Зависимости рациональной частоты от импульсного давления при наиболее вероятных значениях модуля упругости приведены на рисунке 2.

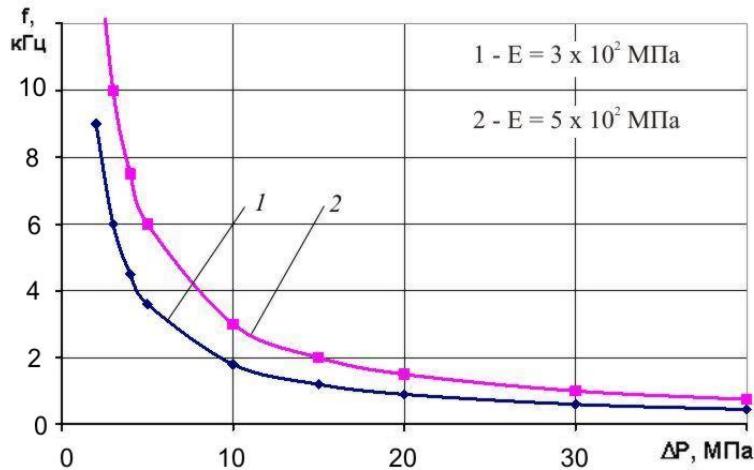


Рис.2. Зависимости рациональной частоты импульсов от импульсного давления различных значениях модуля упругости угля: 1 – $E = 3 \cdot 10^2$ МПа; 2 – $5 \cdot 10^2$ МПа

Рассмотрение приведенной зависимости позволяет обосновать рациональные динамические параметры УГИВ, рабочая точка которого должна находиться выше кривых 1 и 2. Например, при значении импульса давления, создаваемых УГИВ, в 5 МПа частота следования импульсов давления должна превышать 6 кГц, а в 15 МПа – 2 кГц.

Учитывая, что в основу гидроимпульсного воздействия положено явление периодически-срывной кавитации в потоке жидкости, рассмотрим результаты визуальных наблюдений, выполненные ранее [6]. Разработанное устройство, реализующее режим такого течения в фильтрационной камере шпура или скважины, включает в себя трубку Вентури специальной геометрии, входной и выходной каналы сечением, соответствующим критическому сечению трубы Вентури (рис. 3) [7].

При подаче жидкости на вход критического сечения трубы Вентури под давлением P_0 со скоростью v_0 в диффузоре происходит резкое падение давления и рост скорости движения жидкости до критических значений – v_{kp} , P_{kp} при которых возникает разрыв сплошности жидкости и образуются каверна, заполненная парами и газами.

В зависимости от геометрических параметров трубы Вентури для режима $P_0 = \text{constant}$, $P_1 = \text{constant}$ в ней может реализоваться режим периодически-срывного кавитационного течения, при котором присоединенная каверна растет до максимальных размеров, а потом происходит отрыв всей ее диффузорной части [6].

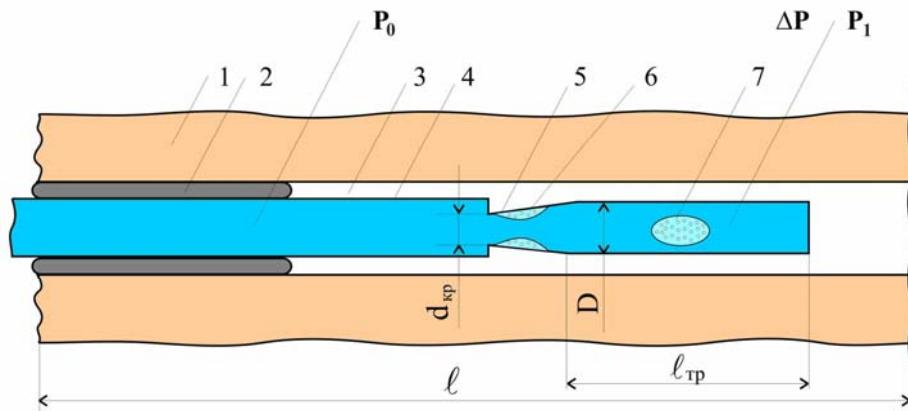


Рис. 3. Схема гидрорыхления угольного массива с использованием УГИВ 1 – угольный пласт; 2 – герметизатор; 3 – скважина; 4 – напорный трубопровод; 5 – кавитационный генератор; 6 – оседлая каверна; 7 – оторвавшаяся и снесенная по потоку каверна.

Отличительной особенностью такого кавитационного течения являются стабильность частоты отрыва кавитационной каверны, расположенной в диффузоре и её захлопывания. Экспериментально были установлены характерные особенности этого вида колебаний. К этим особенностям относится, прежде всего, отсутствие зависимости частоты колебаний от длины выходного трубопровода за местным сужением, которое указывает на неакустическую природу высокочастотных кавитационных колебаний. Частота и «двойная амплитуда» высокочастотных колебаний определяются геометрическими и режимными параметрами местного сужения. Под «двойной амплитудой», вследствие негармонической формы колебаний, понимается величина размаха $\Delta P_1 = P_{1\max} - P_{1\min}$, где $P_{1\max}$ и $P_{1\min}$ – максимальное и минимальное значения давления в импульсе за трубкой Вентури.

Параметром динамического подобия такого течения является число кавитации – K , которое представляет собой отношение разности давления подпора за выходом из трубы Вентури P_1 и давления в критическом сечении P_{kp} к скоростному напору, который определяется по скорости струи в критическом сечении V_{kp} .

$$K = \frac{P_1 - P_{kp}}{\rho \frac{V_{kp}^2}{2}}; \quad (3)$$

где ρ – плотность жидкости.

В числителе этого параметра входит значение давления или напора, под действием которого каверна захлопывается, а в знаменателе – скоростной напор потока, определяющий падение давления, в результате которого может образоваться и расширяться каверна. С этой точки зрения число кавитации представляет собой отношение давления, под действием которого происходит захлопывание каверны, к давлению, под действием которого каверна возникает и расстет. Поскольку $\rho \frac{V_{kp}^2}{2} = P_0 - P_{kp}$ и учитывая, что для воды $P_{kp} \approx P_s$ (где для воды

$P_s \approx 0,0024$ МПа – давление насыщенных паров), а также, что $P_{kp} \ll P_0$ и $P_{kp} \ll P_1$ в дальнейшем, так как испытания проводились на воде, было введено понятие параметра кавитации τ [6]. Он определяется как отношение давлений на выходе из трубы Вентури к давлению на входе в нее, т.е.

$$\tau = P_1 / P_0 \quad (4)$$

Параметр кавитации отличается от числа кавитации тем, что вместо статического используется полное давление.

Использование кавитационного генератора типа трубы Вентури в УГИВ позволяет создавать и поддерживать устойчивый режим импульсной нагрузки на угольный пласт. Интенсивность и величина нагрузки регулируется конструктивными параметрами генератора и давлением на входе и выходе из него. Данное решение позволяет управлять фильтрационным процессом и разрушением угля независимо от изменения величины горного давления впереди забоя подготовительной выработки, устраниТЬ прорыв жидкости и гидроотжим краевой части пласта, а так же обеспечить безопасность работ по газовому и пылевому факторам.

Исходные данные для обоснования и разработки УГИВ базируются на параметрах серийно изготавливаемых и используемых на шахтах насосных установок, физико-механических свойствах угольных пластов, горно-геологических и горнотехнических условиях. Основные условия следующие:

- по параметрам насосных установок: давление подачи жидкости $1,0 \text{ МПа} \leq P_0 \leq 30 \text{ МПа}$; расход жидкости $Q = 35 \dots 40 \text{ л/мин}$ (УН-35, УНШ); $Q = 50 \dots 60 \text{ л/мин}$ (УНР, УНИ); $Q > 60 \text{ л/мин}$ (УГН);

- по горно-геологическим условиям и свойствам угля: по давлению газа в пласте (давления подпора) $P_1 = 1,0 \dots 20,0 \text{ МПа}$; по сопротивлению угля на сдвиг $K = 2,0 \dots 6,0 \text{ МПа}$, глубине герметизации скважины не менее 2,5 м;

- по параметрам трубы Вентури: диаметр критического сечения d_{kp} ; угол раскрытия диффузора β ; диаметр входного d_{bx} и выходного каналов D ; длина входного – ℓ_{bx} и выходного – ℓ_{by} каналов.

В соответствии с теоретической моделью нестационарного кавитационного течения жидкости в сужающе-расширяющемся канале типа трубы Вентури диаметр критического сечения устройства рассчитывается по формуле

$$d_{kp} = \sqrt{\frac{4G}{\pi \mu \sqrt{2g\gamma(P_0 - P_k)}}, \quad (5)}$$

где G – весовой расход жидкости.

На основании многочисленных экспериментальных определений, входящие в формулу значения коэффициента расхода генератора μ принимаются равными от 0,90 до 0,98, ускорение свободного падения $g = 981$ см/сек, удельный вес воды $\gamma = 0,001$ кг/см³.

Угол раскрытия диффузора $\beta = 20^\circ$ и диаметр последидиффузорного канала $D = 4 d_{kp}$ выбираются из условия обеспечения максимальных значений давления в импульсе ΔP_1 , а длина последидиффузорного канала $\ell_{vых} = 25D$ из условия передачи этих импульсов в скважину с минимальными потерями [6]. Частота автоколебаний давления жидкости в фильтрационной камере должна обеспечивать эффективное разрушение угля (трещинообразование) в прискважинной зоне. Исходя из условия собственных колебаний трещиновато-пористой блочно-слоистой структуры угольного пласта от 1 до 3 кГц, частота импульсов автоколебаний давления жидкости должен составлять не менее 1 кГц.

На рисунке 4 приведены теоретические значения ожидаемых частоты (а) и размаха кавитационных автоколебаний (б) рассчитаны по модели [6].

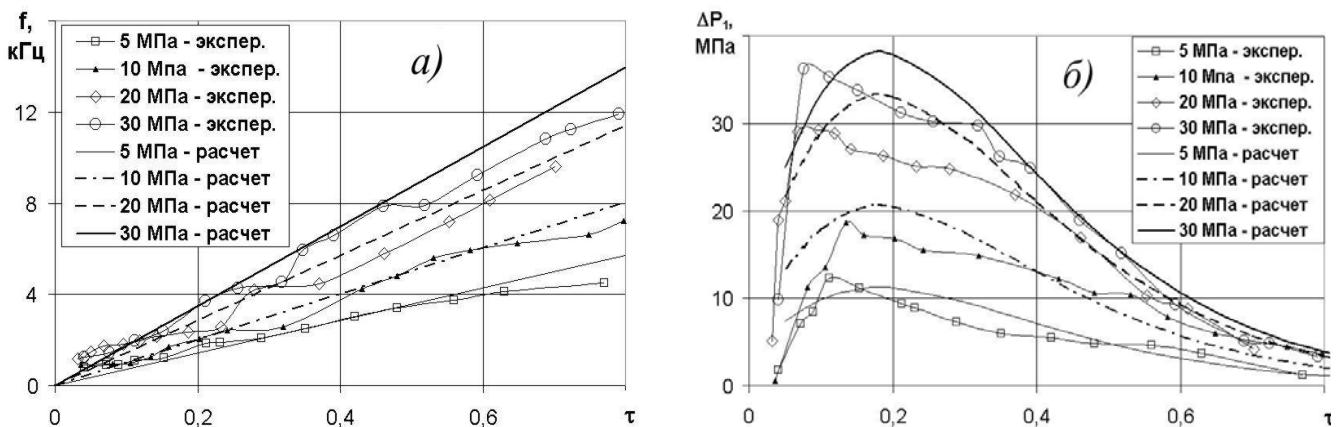


Рис. 4. Теоретические и экспериментальные зависимости частоты (а) и размаха (б) автоколебаний от параметра кавитации при разных значениях давления P_0

Экспериментальные зависимости установлены при автономных испытаниях устройства с критическим сечением $d_{kp} = 2,5$ мм и углом раскрытия диффузора $\beta = 20^\circ$.

Анализ теоретических и экспериментальных зависимостей частоты и размаха автоколебаний давления от параметра кавитации показывает на удовлетворительное качественное и количественное согласование расчетных и экспериментальных данных. Установленный диапазон работоспособности генератора по параметру кавитации от 0,05 до 0,7 обеспечивает рабочий диапазон частот автоколебаний от 1,0 до 9,0 кГц, что соответствует условию разрушения угля в массиве по его собственным частотным характеристикам.

Максимальное значение размаха ΔP_1 превышает давление питания P_0 примерно от 1,2 до 2,4 раза. При этом заметна тенденция, что при увеличении давления на входе в генератор P_0 отношение $\Delta P_1/P_1$ – уменьшается.

Для определения гидродинамических характеристик УГИВ на гидравлическом стенде были проведены исследования затопленного периодически-срывного

кавитационного течения в трубопроводе, моделирующем скважину. Инструментальные измерения импульсов давления и их частоты следования по длине имитатора скважины проводились на различном удалении от устройства (рис. 5).

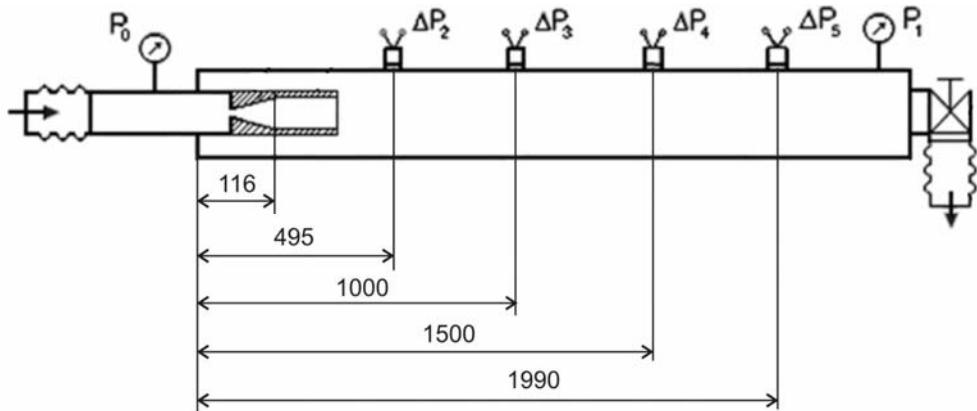


Рис. 5. Схема испытаний УГИВ на модели имитатора скважины

В качестве примера на рисунке 6 представлены зависимости частоты следования пульсаций f (а) и величин размаха автоколебаний давления жидкости ΔP (б) от параметра кавитации τ полученные при лабораторных исследованиях погружного УГИВ на модели скважины.

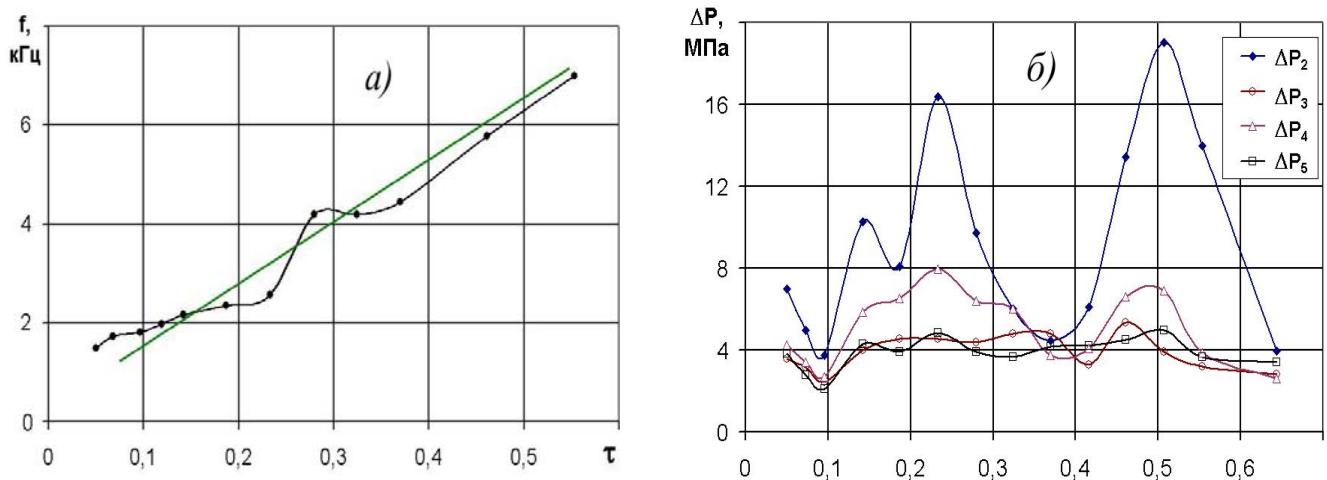


Рис. 6. Экспериментальные зависимости (а) частоты и (б) размаха автоколебаний от параметра кавитации в разных сечениях модели имитатора скважины

Анализ представленных зависимостей показывает, что при давлении нагнетания 21 МПа с расходом жидкости 56 л/мин рабочий диапазон частоты автоколебаний (рис. 6а) составляет от 1 до 7 кГц и удовлетворительно согласуется с частотой генерируемой устройством. Изменение величин пульсаций давления ΔP_2 и ΔP_4 от параметра кавитации τ нелинейно. Имеется два ярко выраженных максимума при значении параметра кавитации $\tau \approx 0,23$ значения $\Delta P_2 = 16,4$ МПа, $\Delta P_4 = 8,0$ МПа, а при $\tau \approx 0,51$ значения $\Delta P_2 = 19,0$ МПа, $\Delta P_4 = 6,9$ МПа. Величины ΔP_3 и ΔP_5 существенно не отличаются друг от друга и находятся в диапазоне от 3 до 6 МПа.

Испытания устройства на гидравлическом стенде подтвердили возможность его использования в комплексе горного оборудования для импульсного гидрорыхления угольных пластов. Исследования УГИВ на выбросоопасный угольный массив проводились на шахте «Суходольская-Восточная» ОАО «Краснодонуголь», на пласте i_3^1 гор. 915м. Методикой проведения горно-экспериментальных работ предусматривалась оценка эффективности гидроимпульсного воздействия нормативными способами контроля и оценки эффективности и сравнительная оценка мероприятий при проведении выработки с применением нормативного способа гидрорыхления и с применением гидроимпульсного воздействия.

При проведении горно-экспериментальных работ в забоях подготовительных выработок использовалась технологическая схема гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов через две скважины. В результате оценки эффективности применения гидроимпульсного воздействия установлено:

- разработанная конструкция УГИВ при подаче жидкости на вход устройства в диапазоне давления от 10,0 до 20,0 МПа со скоростью нагнетания от 40 до 60 л/мин обеспечивает эффективное рыхление угольных пластов в зонах с низкой гидравлической проницаемостью и безопасное проведение выработки по газодинамическому фактору;

- гидрорыхление массива через скважины диаметром 43 мм, длиной от 6,0 до 8,0 м с глубиной герметизации от 4,0 до 6,0 м и камерой фильтрации 2,0 м осуществляется без проявления гидроотжима и гидоразрыва пласта в забое выработки.

- сравнение двух способов по длительности воздействия на массив показало, что при гидроимпульсном воздействии продолжительность нагнетания жидкости до завершения активного процесса гидрообработки пласта снижается до 50 %, а расход жидкости до 60%;

На основании результатов лабораторных и горно-экспериментальных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Определены условия и исходные данные для разработки геометрических параметров устройства гидроимпульсного рыхления угольных пластов с использованием кавитационного генератора импульсов давления жидкости, на основании которых разработан и изготовлен экспериментальный образец;

2. Экспериментально на гидравлическом стенде определены гидродинамические характеристики устройства:

- работоспособность по параметру кавитации от 0,05 до 0,70;
- рабочий диапазон частот автоколебаний от 1,0 до 7,0 кГц.

Установлено, что размах автоколебаний давления, наложенный на величину давления подпора жидкости, соизмерим с давлением нагнетания в рабочем диапазоне гидрорыхления от 10,0 до 20,0 МПа;

3. В результате горно-экспериментальных работ и оценки эффективности применения устройства гидроимпульсного рыхления угольных пластов по нормативной технологической схеме гидрорыхления установлено:

- гидродинамические параметры устройства и параметры скважин при подаче жидкости на вход устройства в диапазоне давления от 10,0 до 20,0 МПа со скоростью нагнетания до 60 л/мин позволяют вести эффективную гидрообработку угольного пласта независимо от его гидравлической проницаемости, что

позволяет управлять процессом трещинообразования в угольном пласте по всей его мощности;

- экономическая эффективность применения способа гидроимпульсного рыхления выбросоопасных пластов оценивается снижением длительности нагнетания жидкости до завершения активного процесса гидрообработки пласта до 50 % и расхода жидкости до 60% при одновременном повышении уровня безопасности ведения горных работ по газодинамическому фактору и возможностью перехода на более перспективную схему проведения выработок комбайнами.

Список литературы

1. Правила ведения горных работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям: СОУ 10.1.001740088-2005 / Минуглепромом Украины. – К.; Минуглепром Украины, 2005. – 225 с.
2. Васильев Л.М. Импульсная насосная установка / Л.М. Васильев, В.С. Демченко, А.В. Родин // Геотехническая механика: Межведомст. сб. научн.труд / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2001. – № 29. – С.3-8.
3. Васильев Л.М. Механизм разрушения угольных пластов гидроимпульсным воздействием через шпуры или скважины / Л.М. Васильев, В.В. Зберовский, Ю.А. Жулай, П.Ю. Моисеенко // Материалы XVII Межд. науч. школы им. С.А. Христиановича «Деформирование и разрушение материалов с дефектами, и динамические явления в горных породах и выработках» Алушта 17-23 сентября 2007г. – Симферополь: ТНУ, 2007.- С. 73-77.
4. Мохначев М.П. Динамическая прочность горных пород / М.П. Мохначев, В.В. Присташ. – М.: Наука. 1982. – 142 с.
5. Родин А.В. Обоснование параметров и разработка погружного кавитационного генератора импульсов давления, обеспечивающего повышение эффективности предварительного увлажнения угольных пластов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06 / Родин А.В. – Днепропетровск, 1983. – 254 с.
6. Пилипенко В.В. Кавитационные автоколебания / В.В. Пилипенко. – К.: Наукова думка, 1989. – 316 с.
7. Пат. 87038 Украина, МКИ Е21F 5/02 Устройство для гидроимпульсного воздействия на угольный пласт/ Л.М. Васильев, Ю.А. Жулай, В.В. Зберовський, П.Ю. Моисеенко, Н.Я. Трохимец; собственник Інститут геотехническої механіки НАН України. – № 2007 10209/9822; заявл.13.09.07; опубл.10.06.09, Бюл. № 11 – 4 с.: 2 ил.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бойком В.О.
Надійшла до редакції 08.10.10*

УДК 504.3.054:622

© В.В. Задорнова

МІКРОКЛІМАТИЧНІ ФЛУКТУАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРИ В ГЛИБОКИХ КАР'ЄРАХ

Представлены результаты расчета температурных параметров атмосферы глубоких карьеров Кривбасса, полученных на основе статистического метода обработки экспериментальных данных.

Представлені результати розрахунку температурних параметрів атмосфери глибоких кар'єрів Кривбасу, отриманих на основі статистичного методу обробки експериментальних даних.

Presents the results of calculation of temperature parameters of the atmosphere of deep pits Krivbass obtained on the basis of the statistical method of data processing.

Контроль мікрокліматичних параметрів атмосфери в глибоких кар'єрах і його робочих зонах залишається однією з актуальних завдань охорони праці та моніторингу навколошнього середовища. Прогноз стану атмосфери кар'єра залежить від метеорологічних параметрів, що впливають на забруднення атмосфери і характер розподілу пилогазових викидів.

Антropогенний вплив кар'єру на навколошнє середовище в першу чергу позначається на стані повітряного басейну. Розвиток і поглиблення кар'єрів веде до зниження ефективності природного провітрювання й утворенню в кар'єрах мікроклімату, що істотно відрізняється від мікроклімату прилягаючого району, причому зі збільшенням глибини ці відмінності зростають.

Аерогазотермодинаміка напівзамкнутого об'єму кар'єрного простору має тенденцію до нагромадження високих концентрацій пилу й шкідливих газів. Концентрація шкідливостей і мікрокліматичні параметри атмосфери кар'єрів, які визначають умови праці на робочих місцях у кар'єрах, залежать від метеорологічних, технологічних, організаційних і технічних факторів гірничого виробництва й перебувають у постійній зміні.

Стан забруднення атмосфери кар'єрів залежить як від регульованих, так і від нерегульованих факторів: орографії місцевості, метеорологічних умов і пори року, видів технологічних процесів і системи розробки конкретного родовища, типів, кількості й режимів роботи гірничого й транспортного встаткування. Технологічні процеси, масова відбійка гірської породи з використанням вибухових речовин, застосування бурової й дизельної техніки в кар'єрах приводять до виділення пилу й шкідливих газів в атмосферу. Тому виникає серйозна проблема підтримки нормальних санітарних умов на робочих місцях.

У цей час не піддається сумніву, що актуальність проблеми створення безпечних умов праці на робочих місцях у глибоких кар'єрах й охорони праці постійно зростає.

На підприємствах гірничої промисловості економічні втрати внаслідок несприятливих погодних умов досягають 5-10%, а видобуток корисних копалин у кар'єрах при несприятливих метеорологічних явищах ускладнюється. Прогноз і своєчасне оповіщення про такі явища дозволяють вживати заходів по скороченню простою людей і механізмів, зменшувати економічні втрати кар'єрів із цих причин.

Очевидно, що рішення питань про прогнозування концентрації шкідливих викидів безпосередньо залежить від умов розсіювання їх в атмосфері з урахуванням метеорологічних факторів.

Виявлення особливостей внутрішньокар'єрної циркуляції повітря й закономірностей просторово-тимчасового розподілу забруднюючих речовин у приземному шарі атмосфери кар'єру, розвиток засобів контролю й способів керування параметрами мікроклімату на робочих місцях й у застійних зонах глибоких кар'єрів, створення методів поточної оцінки санітарно-гігієнічних умов праці, удосконалювання нормативних документів з охорони праці гірників у глибоких кар'єрах, а також розробка методів прогнозу забруднення атмосфери кар'єру й навколошнього середовища кар'єрними пилогазовими викидами неможливо без створення автоматизованої системи контролю параметрів атмосфери кар'єрів і системи геоінформаційного забезпечення моніторингу атмосфери.

Створення геоінформаційної системи моніторингу параметрів атмосфери кар'єру забезпечує своєчасне виявлення наднормативного забруднення повітря й вживання відповідних заходів безпеки.

Характеристики забруднення атмосфери все більшою мірою розглядаються разом з метеорологічними величинами. Тому розробка методів прогнозу метеорологічних параметрів є необхідною умовою створення сучасних систем моніторингу чистоти атмосфери в кар'єрі.

Серед екологічних завдань з аспектів забруднення атмосфери великого значення набувають дослідження закономірностей поширення шкідливих домішок й особливостей їхнього просторово-тимчасового розподілу в кар'єрі. Вони є основою для об'єктивної оцінки стану й тенденції змін забруднення повітряного басейну, а також розробки можливих заходів щодо забезпечення чистоти атмосфери. Без таких досліджень неможливе визначення репрезентативних місць і часу спостережень із метою створення системи контролю за чистотою повітря.

Актуальний напрямок у розвитку робіт з метеорологічних аспектів забруднення повітря в глибоких кар'єрах пов'язано із прогнозом умов, при яких можуть досягатися високі концентрації домішок у приземному шарі атмосфери кар'єру. Слід зазначити, що в цей час практичний інтерес представляють короткострокові прогнози, особливо можливості різкого підвищення концентрацій шкідливих домішок у приземному шарі повітря. Таке підвищення може бути обумовлено несприятливими для розсіювання домішок мікрокліматичними умовами. У періоди збільшення забруднення повітря потрібне прийняття заходів для короткочасного скорочення викидів і зменшенню їхнього шкідливого впливу.

Інтерес до короткострокового прогнозу забруднення повітря обумовлений, насамперед, тим, що в глибоких кар'єрах зниженні природна аерація, викиди шкідливих речовин в атмосферу й концентрації їх у повітрі досить великі, а існуючий рівень штучного провітрювання кар'єрів не у всіх випадках дозволяє забезпечити потрібне очищенння повітря. Виникає необхідність прогнозування зменшення викидів в атмосферу кар'єру в періоди несприятливої метеорологічної обстановки, при якій може створюватися небезпечне забруднення повітря на робочих місцях. При цьому повинні бути враховані очікувані викиди в атмосферу, а також деякі особливості їхнього режиму, зв'язані, наприклад, з буровибуховими роботами, збільшенням числа працюючої гірничо-транспортної техніки, або збільшенням кількості палива, що спалює, при зниженні температури повітря взимку й т.п.

Одним з основних метеофакторів, що визначає мікроклімат на робочих місцях й у робочих зонах глибоких кар'єрів, є температура атмосферного повітря. Температурні параметри також формують режим вологості і є нормованою величиною при оцінці умов праці гірників у кар'єрах.

Для оцінки мікроклімату глибоких кар'єрів нами протягом багатьох років проводилися роботи над створенням комп'ютерних баз даних і математичних моделей прогнозу мікроклімату, умов праці й забруднення атмосфери в зоні діяльності ГЗКа Кривбасу.

Результатами вимірювань метеорологічних даних за весь період спостереження в кар'єрах були встановлені основні характерні закономірності поводження

параметрів мікроклімату в кар'єрах, виявлений їхній функціональний зв'язок за часом доби, місяцям і сезонам року.

Багаторічні спостереження за параметрами мікроклімату Першотравневого кар'єру ПівнГЗКа дозволили нагромадити значний обсяг експериментальних даних про зміну метеоумов у кар'єрі. Дослідження виконувалися на дні й поверхні кар'єру з наступною графоаналітикою обробкою метеорологічної інформації за допомогою сучасних комп'ютерних технологій. Метеорологічними спостереженнями встановлено, що в кар'єрному просторі формується власний мікроклімат, особливості якого проявляються усе більш чітко в міру збільшення глибини розробок. На нижніх обріях глибоких кар'єрів відзначаються істотні розходження в температурі й вологості повітря, прозорості й атмосферного тиску.

Дослідження показали, що за весь період спостережень, температура на дні кар'єру, як правило, перевищувала температуру повітря на поверхні. Різниця температур у зимовий період досягає $3,5^{\circ}\text{C}$, найменший перепад температур доводиться на осінній сезон. На рис. 1 наведений графік середніх місячних температур на дні й поверхні кар'єрів за весь період спостереження.

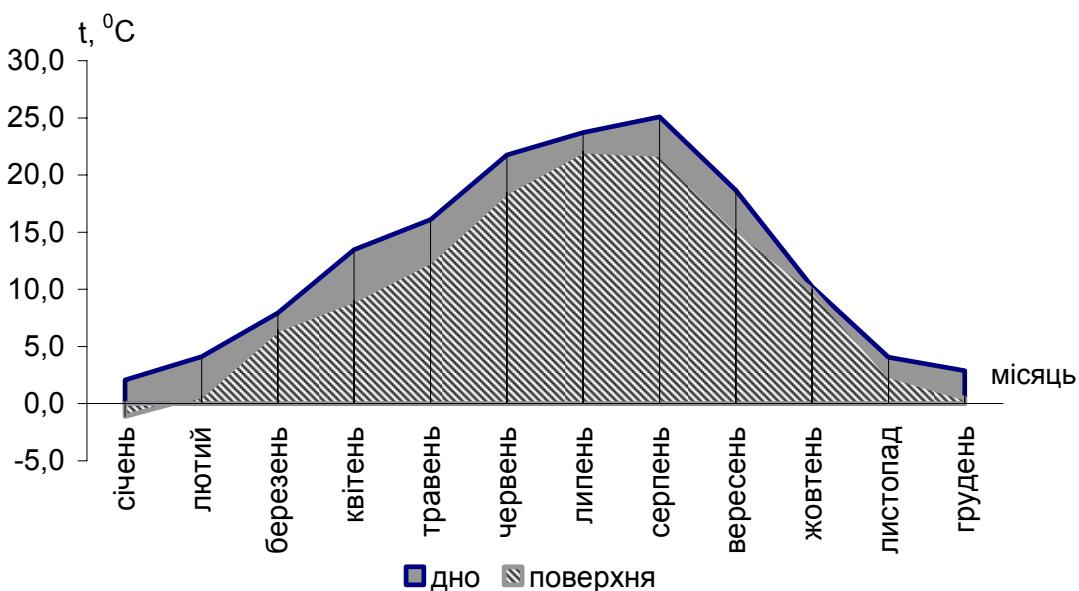


Рис. 1. Зміни середньомісячної температури на дні й поверхні в кар'єрах Кривбасу глибиною 300-320 м

Результати кореляційного й регресійного аналізу експериментальних даних температури повітря на дні й поверхні кар'єрів Кривбасу дозволили створити прогнозний метод визначення температурних флюктуацій в атмосфері кар'єру, ґрунтуючись на метеорологічних даних поверхні в різні сезони року, місяці й часи доби.

На рис. 2-5 представлені розрахункові графіки змін температури повітря на поверхні й дні кар'єру в різні сезони року, де базовою температурою поверхні була температура повітря в приземному шарі атмосфери на висоті 2 м у районі Першотравневого кар'єру м. Кривий Ріг.

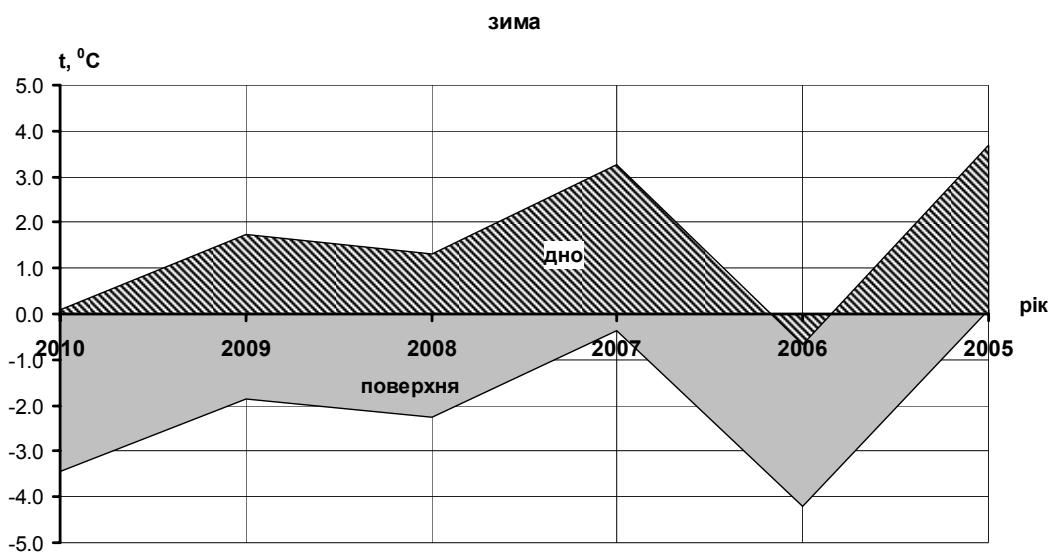


Рис. 2. Середньорічна зміна температури повітря на поверхні й на дні кар'єру в зимовий сезон

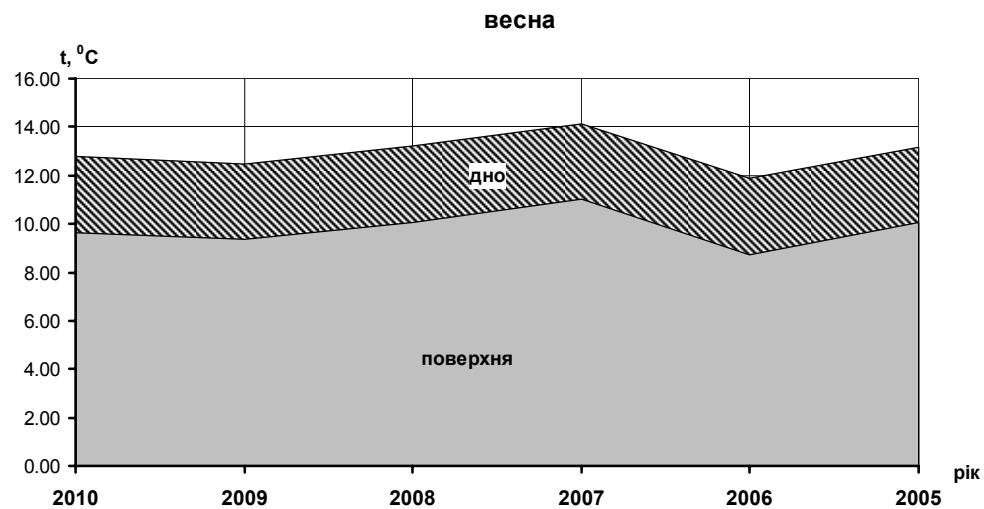


Рис. 3. Середньорічна зміна температури повітря на поверхні й на дні кар'єру у весняний сезон

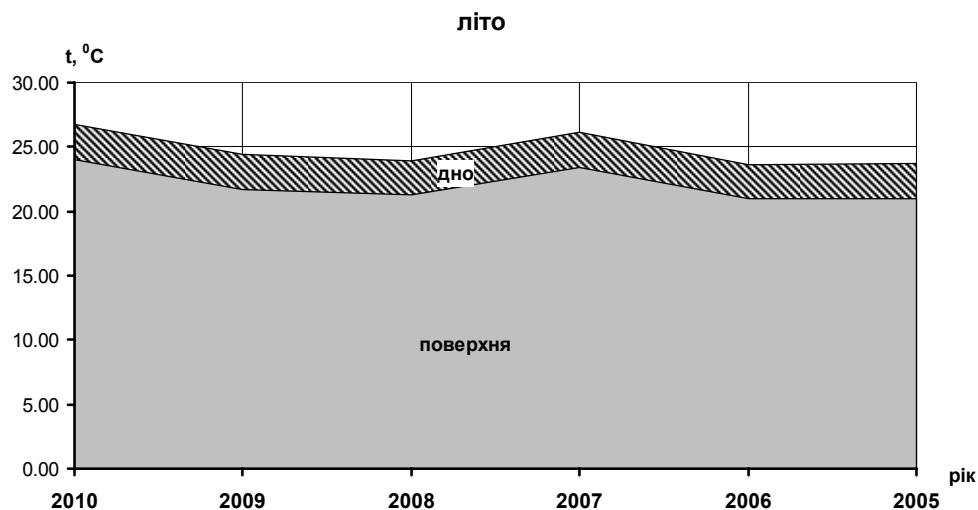


Рис. 4. Середньорічна зміна температури повітря на поверхні й на дні кар'єру в літній сезон

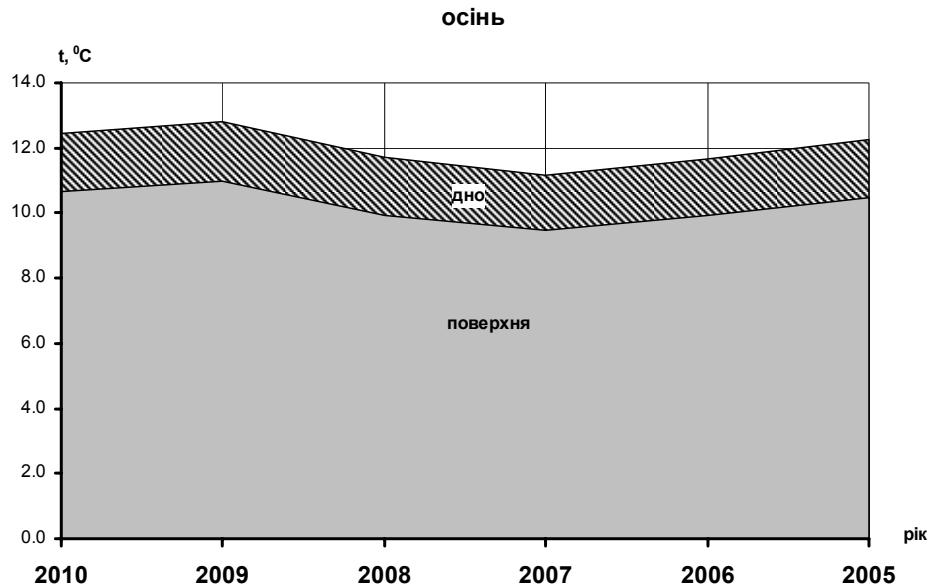


Рис. 5. Середньорічна зміна температури повітря на поверхні й на дні капр'єру в осінній сезон

На рис. 6 представлена діаграма середньодобових температурних флюктуацій у кар'єрі в осінній період 2010 року.

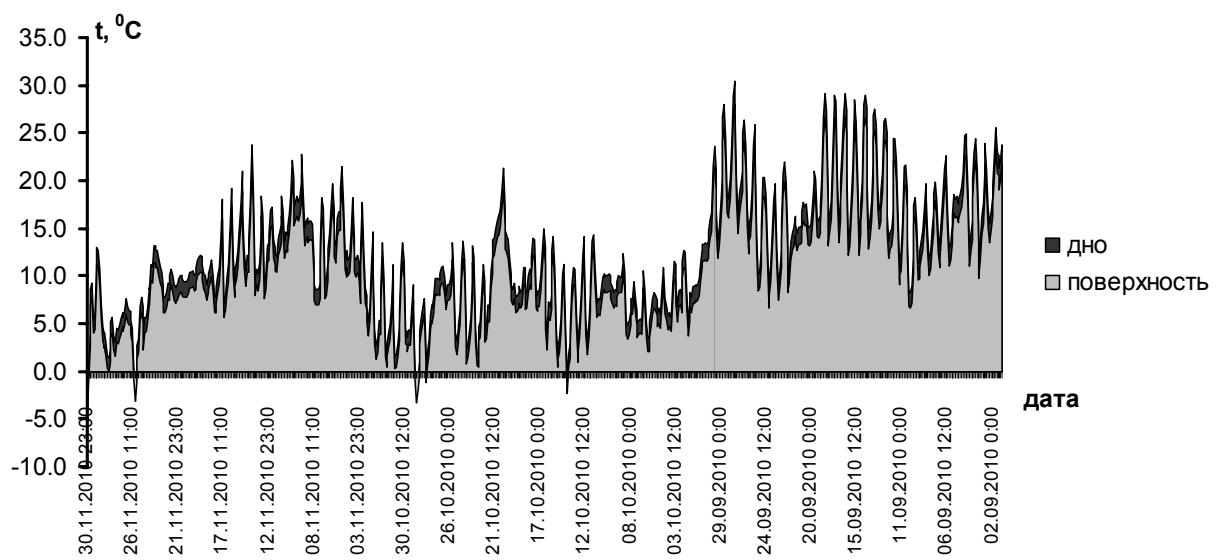
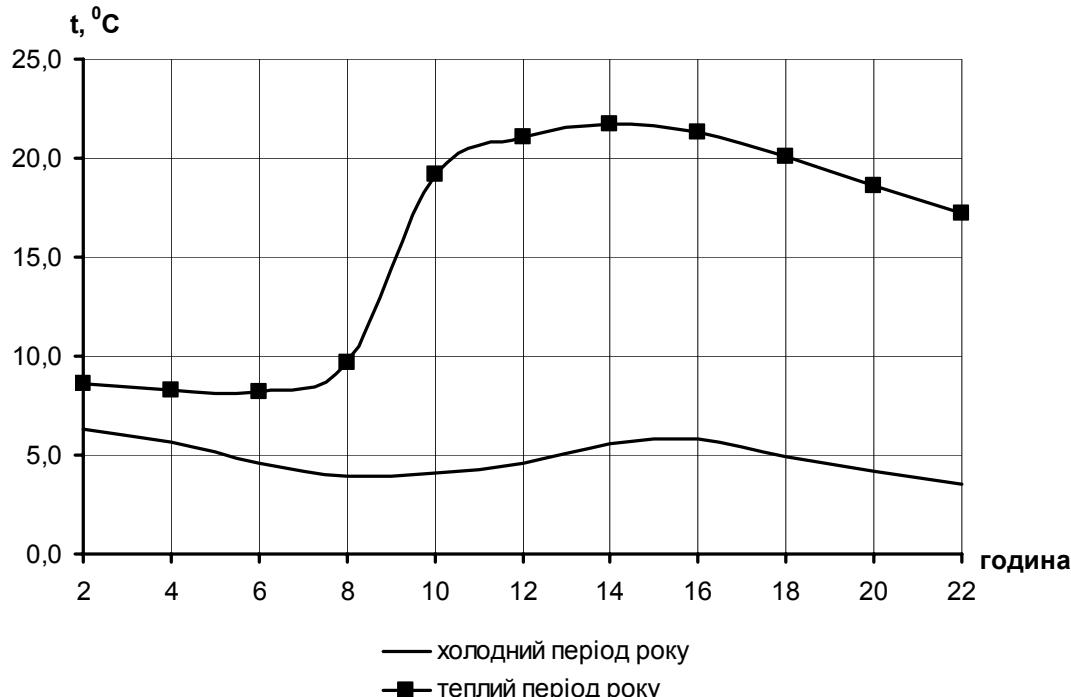


Рис. 6. Середньодобова зміна температури повітря на поверхні й на дні кар'єру в осінній сезон

За результатами натурних даних проведено аналіз характеру змін температури повітря на дні та поверхні кар'єру з ціллю визначення найбільшої вірогідності її максимальних і мінімальних значень в холодний (з листопада по березень) і теплий (з квітня по жовтень) періоди року. На рис. 7 приведено графік погодинної зміни середньої температури повітря за весь час натурних спостережень на дні та поверхні кар'єру в теплий та холодний періоди року.

на дні кар'єру



на поверхні кар'єру

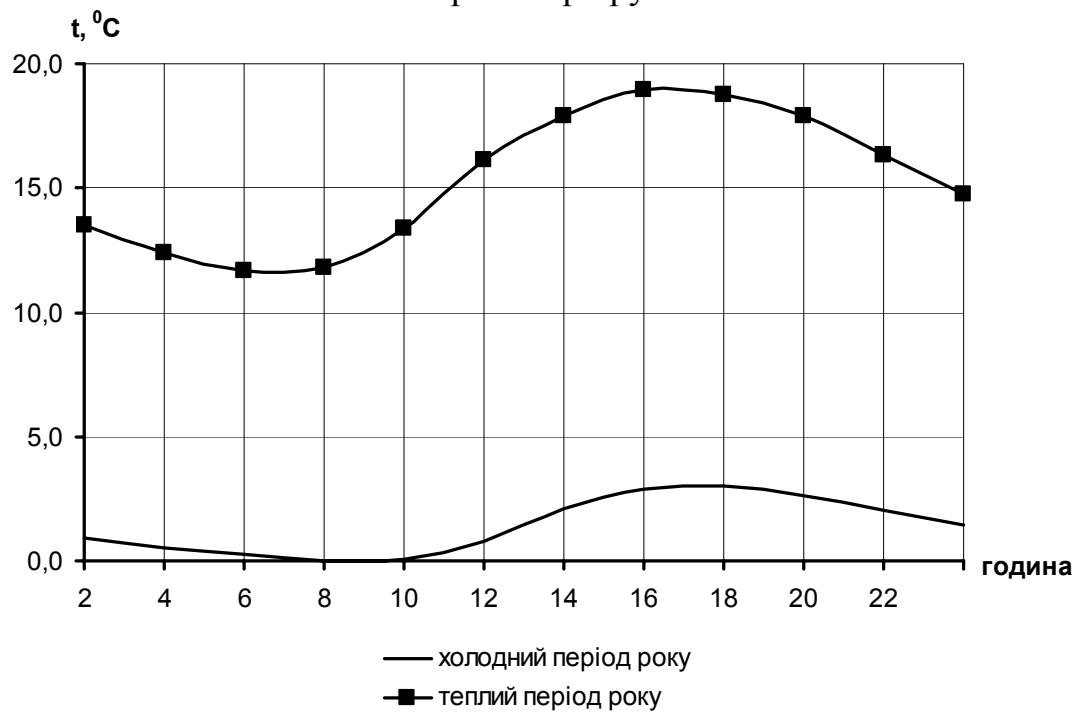


Рис.7. Графіки погодинних температурних флюктуації за добу на дні та поверхні кар'єру за весь час натурних спостережень

Такі результати дають можливості виявити інтервали годин доби як найбільш несприятливі для умов праці в холодний період року в зв'язку зі зниженням температури до значень, які відповідають небезпечним і шкідливим умовам праці з санітарно-гігієнічних норм. В теплий період року перевищення максимальних значень температури з санітарно-гігієнічних норм можлива в період з 13 до 15 годин.

У результаті проведених розрахунків установлені наступні особливості зміни температурних параметрів атмосфери в глибоких кар'єрах Кривбасу:

- різниця температур на дні та поверхні кар'єра значна й у середньому складає: взимку - 3,0 °C, навесні - 3,2 °C, влітку - 2,7 °C та восени - 1,8 °C;

- найбільша температурна різниця спостерігається частіше в серпні, найменша – в березні та жовтні;

- при сталому стані атмосфери зростання температури на протязі доби на дні кар'єру проходить значно повільніше, ніж на поверхні, але також повільно відбувається й зниження температури;

- найбільша вірогідність появилення максимальних значень температури повітря на поверхні та дні кар'єра як в холодний так і в теплий періоди року приходиться на 13-15 годину доби;

- найбільша вірогідність появилення добових мінімальних значень температури на поверхні і дні кар'єру в холодний період року приходиться на період з 6 до 8 годин, а в теплий період року на період з 4 до 6 годин.

- встановлені закономірності флюктуації температури в кар'єрах Кривбасу дозволяють підвісити прогноз забруднення атмосфери в робочій зоні кар'єру в період несприятливої метеорологічної обстановки, а також оцінку впливу діяльності кар'єрів на навколишнє природне середовище.

Список літератури

1. Закономерности формирования микроклимата в глубоких карьерах Кривбасса /А.В. Зберовский, В.Б.Григорьев, М.А. Демиденко, Л.А.Раменский //Сб. научн. трудов НГА Украины №2. – Днепропетровск, РИК НГАУ. 1998.- С. 315 – 321

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 04.11.10*

УДК 550.428:553.93

© В.В. Ишков

МЫШЬЯК В УГЛЯХ ЛИСИЧАНСКОГО И КРАСНОАРМЕЙСКОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНОВ ДОНБАССА

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

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

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

Введение. Исследования распределения As в углях пластов Лисичанского и Красноармейского геолого-промышленных районов Донбасса связаны с повышением требований к охране окружающей среды, обусловливающих потребность в новых научно обоснованных методах прогноза содержаний 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 и Красноармейского геолого-промышленных районов. 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 углеобогатительных 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 в углях пластов Лисичанского и Красноармейского геолого-промышленных районов 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; классификация угольных пластов по содержанию As; выявление связи и расчет уравнений регрессий между концентрациями As и другими основными токсичными и потенциально токсичными элементами, петрографическим составом углей и их основными технологическими параметрами.

Результаты.. Использующийся фактический материал характеризует содержание As в углях 20 пластов Лисичанского района относящихся к свитам C_2^4 (пласт i_2^1), C_2^5 (пласти k_7^1 , k_8^H , k_8 , k_8^B), C_2^6 (пласти l_1 , l_2 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_5 , l_6 , l_8 , l_8^1) и C_2^7 (пласти m_3^H , m_3 , m_3^B , m_6^2 , m_6^3 и m_7) и 34 пластов Красноармейского района относящихся к свитам C_2^2 (пласт g_1^{2H}), C_2^3 (пласти h_1^H , h_4 , h_6 , h_8 , h_{10} , h_{10}^1), C_2^5 (пласти k_5^H , k_5 , k_5^B , k_7 , k_7^1 , k_7^2 , k_8), C_2^6 (пласти l_1 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_4^B , l_5 , l_5^1 , l_6 , l_7^H , l_7 , l_7^B , l_8^H , l_8 , l_8^1) и C_2^7 (пласти m_2 , m_3 , m_4^0 , m_4^2 , m_6^1 и m_6^2) 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» (пласти k_7^1 , l_3 , l_5 , l_6 , l_8 и m_3^B), «им. Капустина» (пласти 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» (пласти k_8 , l_2^1 , l_4 и l_6), «Привольнянская» (пласти 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), «Родинская» (пласты k_5^B , k_7 , l_7^H и l_8^1), «Центральная» (пласты k_5^B , k_7 , l_1 , l_3 и l_7), «Краснолиманская» (пласты k_5 , l_3 , l_7 и m_4^2), «Горняк» (пласты m_2 и m_3), «Белозерская» (пласты l_3 , l_8 , m_2), «Новодонецкая» (пласты k_8 , l_3 и l_8^H), «Алмазная» (пласты l_1 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_5 и l_7), им. Стаханова (пласты k_5 , l_1 , l_3 и l_7), «Добропольская» (пласты l_1 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_5 , m_4^0 и m_6^2), им. Димитрова (пласты k_7 , k_8 , l_1 , l_3 , l_6 , l_7), «Пионер» (пласты l_3 , l_7^B , l_8 , m_4^0 и m_4^2), «Россия» (пласты k_8 , l_3 , l_7 , l_8 , m_2 , m_3 и m_4^2), «Новогродовка №1-2 и №3» (пласты k_8 , l_1 , l_7 , l_8^1 и m_4^2), им. Коротченко (пласты k_8 , l_1 , l_3 , l_8 и l_8^1), «Украина» (пласты k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_7^H и l_8), «Кураховская №10 и №42» (пласты k_8 , l_2^1 , и l_4), а также резервных и разведочных площадей и участков «Северодонецкий – 2» (пласты k_5^H , k_5 , k_5^B , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_5 , l_7 , l_8 , m_2 , m_4^2 и m_6^2), «Новогродовские» (пласты k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_4 , l_7^H , l_7 , l_8 , l_8^1 , m_2 , m_3 , m_4^0 , m_6^1 и m_6^2), «Лесовские» (пласты k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_6 , l_7 , l_8 , l_8^1 , m_2 , m_3 , m_4^0 , m_6^1 и m_6^2), «Гапеевские» (пласты k_5^H , k_5 , k_5^B , k_7^1 , k_7^2 , k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_4^B , l_8^H , m_4^0), «Добропольские» (пласты k_8 , l_1 , l_2^1 , l_3 , l_5 , l_7^B , l_8^H , l_8 , m_4^0 , m_4^2 , m_6^1 и m_6^2), «Димитровские» (h_1^H , h_4 , h_6 , h_8 , h_{10} , h_{10}^1 , l_1 , l_3 , l_5^1 , l_6 и l_7), «Успеновские» (пласты h_4 и h_{10}) 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 в углях Лисичанского района и 2538 его определений в углях Красноармейского района.

С целью получения представительных оценок содержания As в углях, как отдельных пластов, свит, так и в целом по районам единичные определения были объединены по отдельным пластам в 54 пообъектных выборки, 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 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 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 Лисичанского рай-

она взвешенным центроидным методом приведены на рис. 1, а Красноармейского – на рис. 2.

На дендрограмме кластеризации пластов по содержанию As (см. рис. 1) первый кластер составляют пласти 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 Красноармейского района по содержанию As (см. рис. 2) первый кластер составляют пласти с минимальным содержанием (от 6 до 39 г/т, при среднем по кластеру 26 г/т), второй кластер – пласти со средним содержанием (от 44 до 74 г/т, при среднем по кластеру 59 г/т), третий кластер – с повышенными концентрациями (от 90 до 112 г/т, при среднем по кластеру 99 г/т), четвертый кластер образуют два пласти с аномально высокими концентрациями (от 156 до 300 г/т, при среднем по кластеру 228 г/т). Обращает внимание близость (в пределах 95% доверительного интервала) средних значений содержания As в углях пластов второго кластера и во всех изученных пластах района.

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

1) по Лисичанскому району:

1.1) 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 отличает 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 фузенизированного 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 I_4 . Из всех исследованных по району угольных пластов он отличается исключительной невыдержанностью и фрагментарностью распространения. Для него характерны многочисленные расщепления и слияния, резкие измене-

ния мощности на весьма небольших интервалах, различные типы размывов и значительное количество элементарных слоев и пачек.

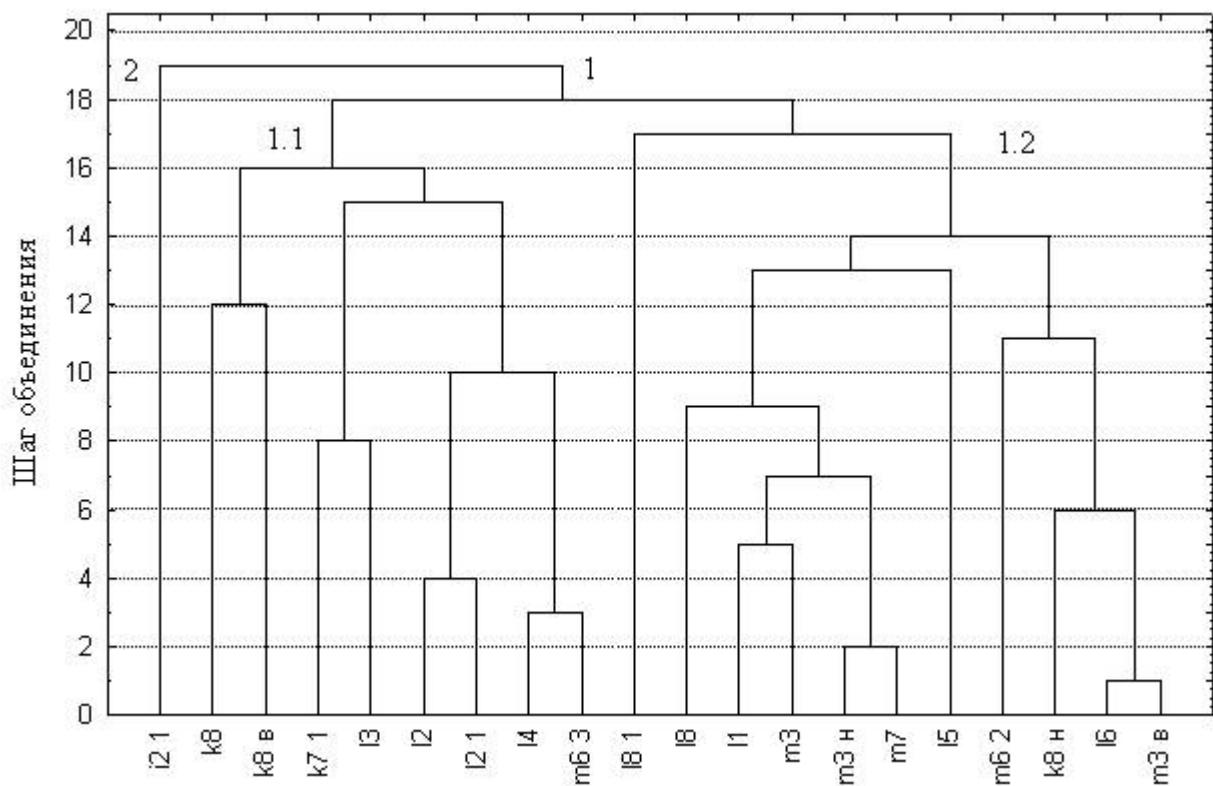


Рис.1. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Лисичанского геологического района по содержанию As в угле.

2) по Красноармейскому району:

2.1) статистически значимая связь содержаний As с сернистостью, зольностью и петрографическим составом углей отсутствует, в то же время как для пластов формирующих четвертый кластер, так и для отдельных участков других пластов с аномально высокими его концентрациями выявлена значимая положительная связь содержаний As с количеством эпигенетической сульфидной минерализацией, зольностью и содержанием фузенизированных микрокомпонентов.

2.2) для всех пластов входящих в первый кластер и для большинства пластов формирующих второй кластер установлена значимая положительная связь (коэффициент корреляции Пирсона 0,44) между концентрациями As и содержанием глинистых минералов в углях;

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

1) статистически значимая связь содержаний As с сернистостью, зольностью и петрографическим составом углей отсутствует, в то же время как для

пластов Лисичанского района формирующих кластеры 1.2 и 2 (рис.1) и для пластов Красноармейского района объединенных в кластеры II, III и IV (рис.2) выявлена значимая положительная связь содержаний As с количеством эпигенетической сульфидной минерализацией, зольностью и содержанием фузенизированных микрокомпонентов. Кроме того, для всех этих пластов установлена значимая положительная связь (коэффициент корреляции Пирсона 0,48) между концентрациями As и содержанием глинистых минералов в углях;

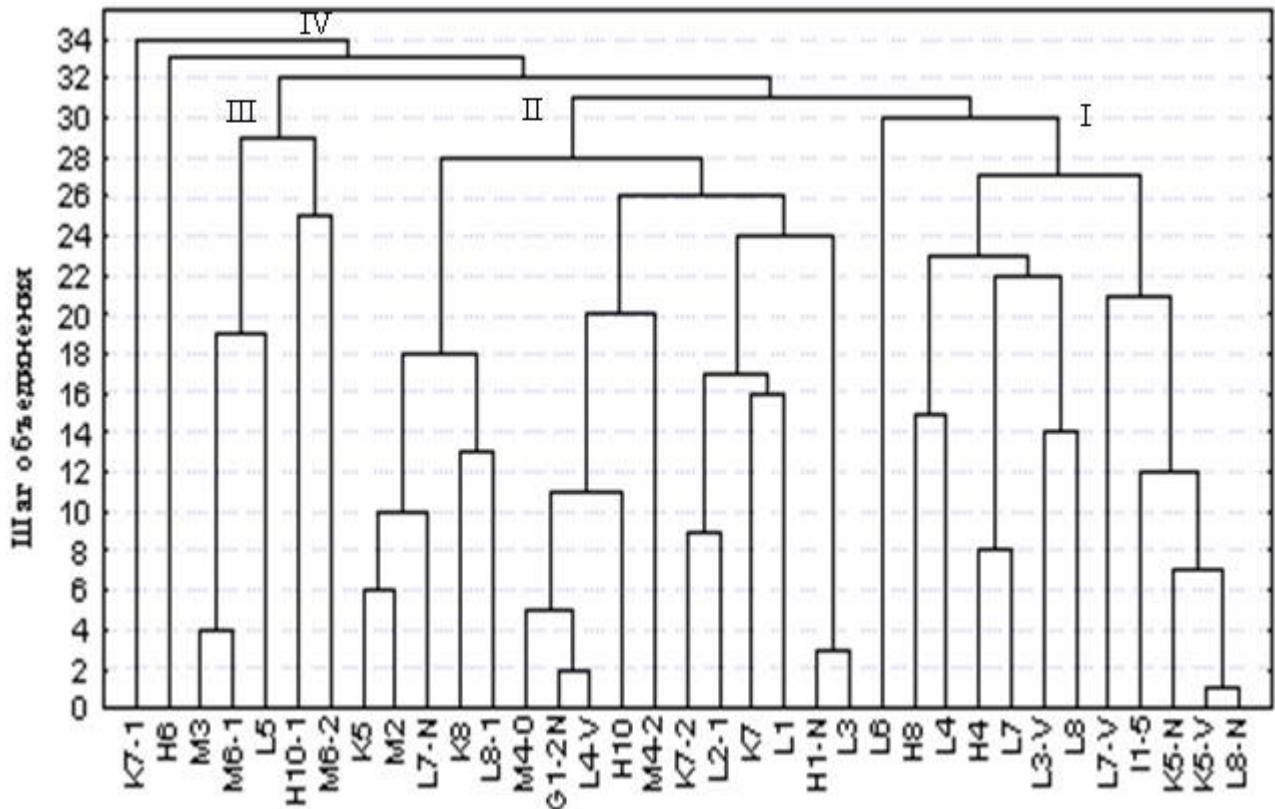


Рис.2. Дендрограмма результатов кластеризации взвешенным центроидным методом угольных пластов Красноармейского геолого-промышленного района по содержанию As в угле

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

$$As = 0,20225 + 0,46350Be; \quad As = 0,50608 - 0,4643F;$$

$$As = 0,27055 + 0,37497Mn; \quad As = 0,20930 + 0,49605Pb,$$

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 фузенизированного вещества углей, диагенетической глинистой и эпигенетической сульфидной минерализацией;

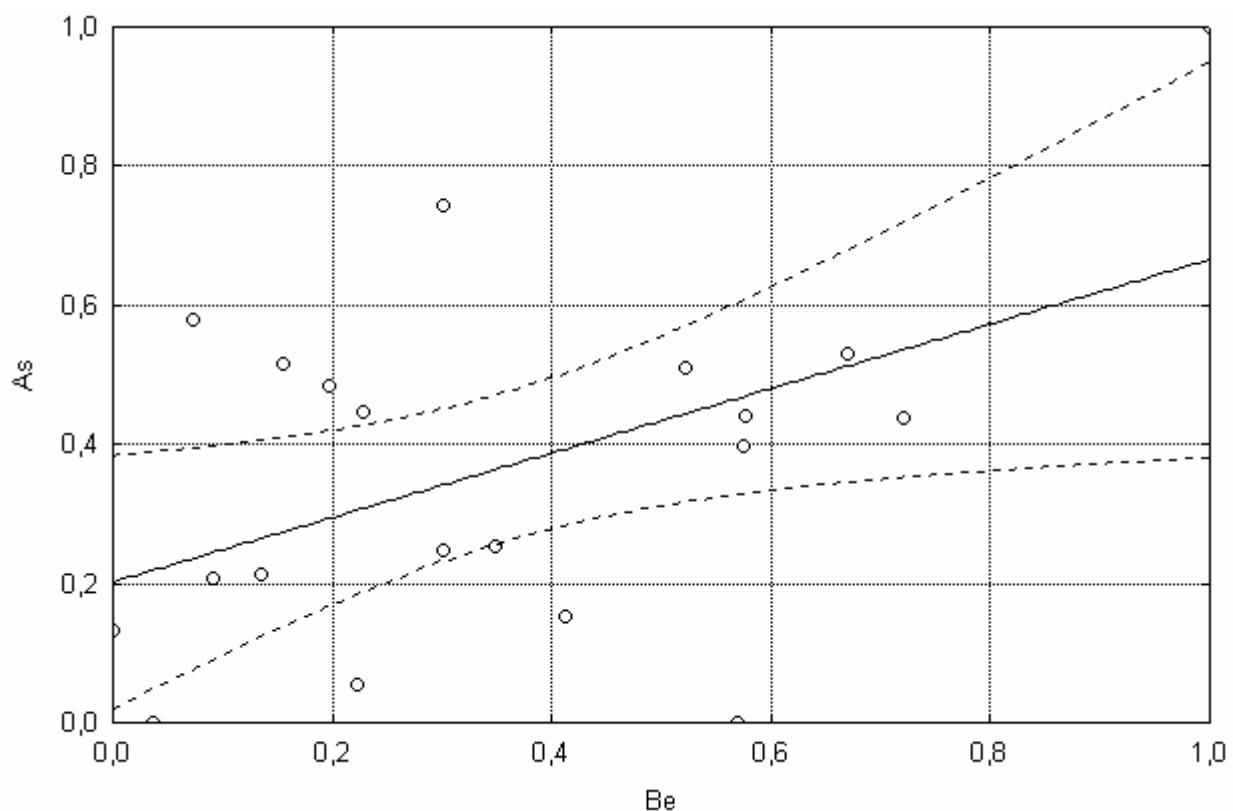


Рис. 3. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Be в основных угольных пластиах Лисичанского района

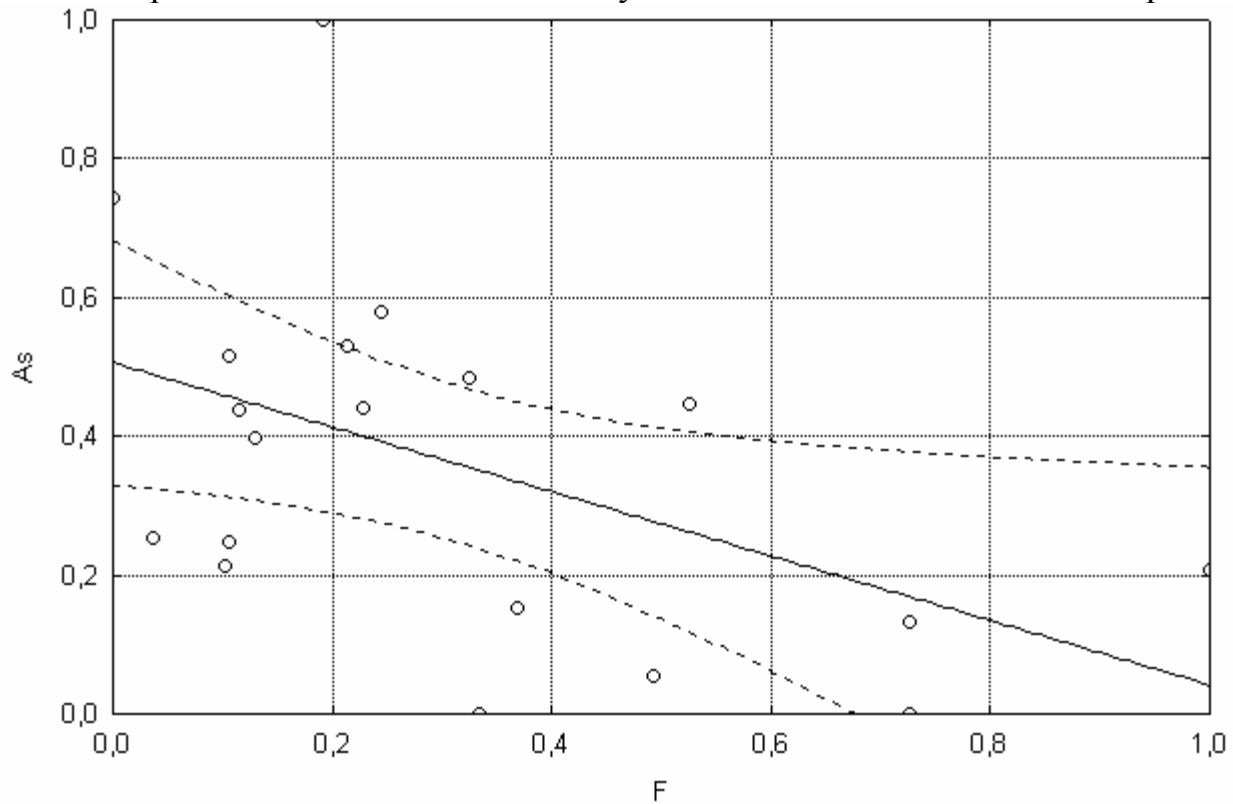


Рис. 4. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и F в основных угольных пластиах Лисичанского района

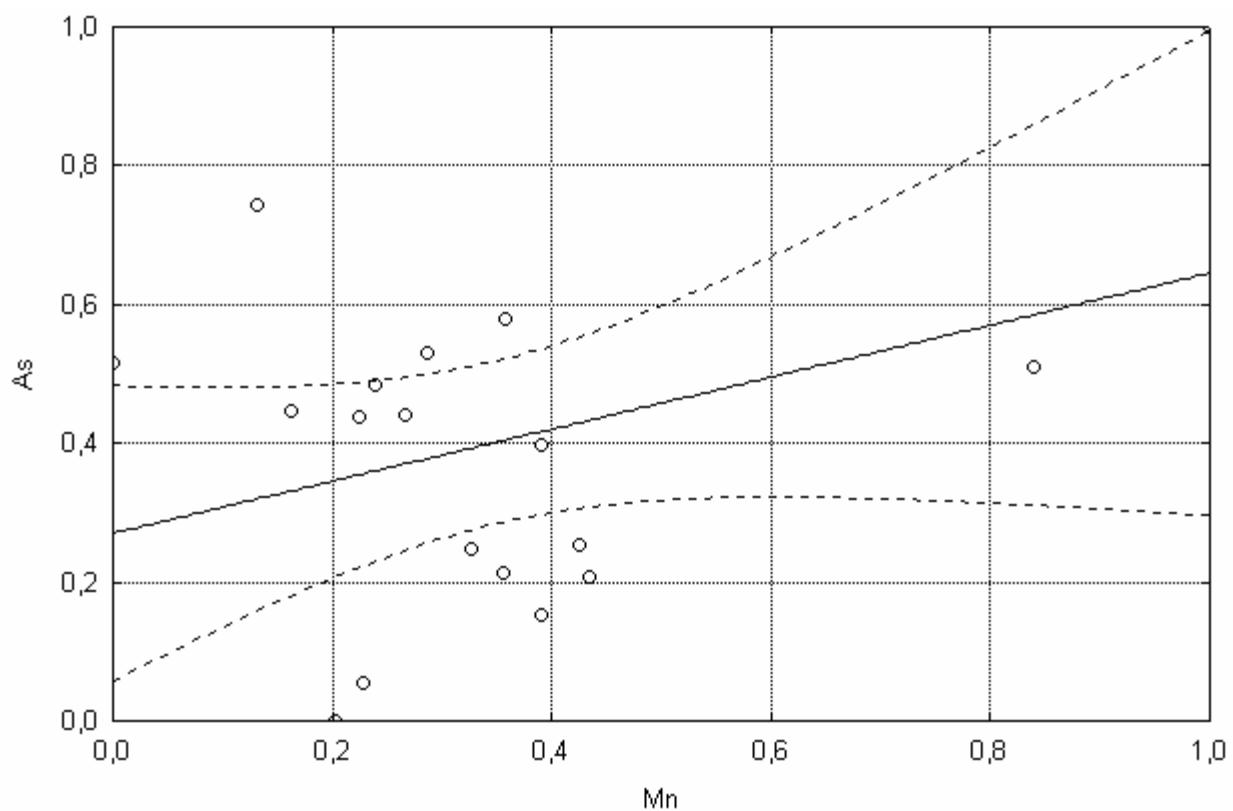


Рис. 5. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Mn в основных угольных пластиах Лисичанского района

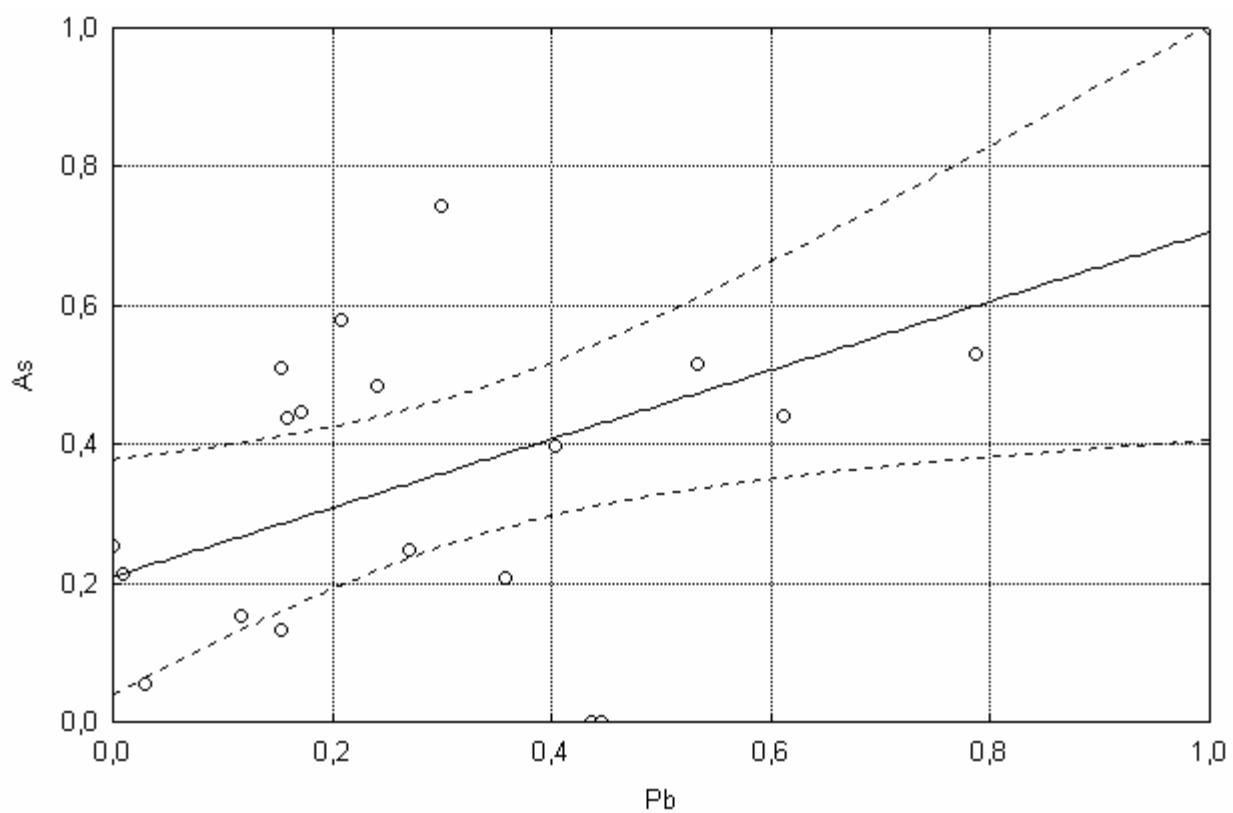


Рис. 6. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Pb в основных угольных пластиах Лисичанского района

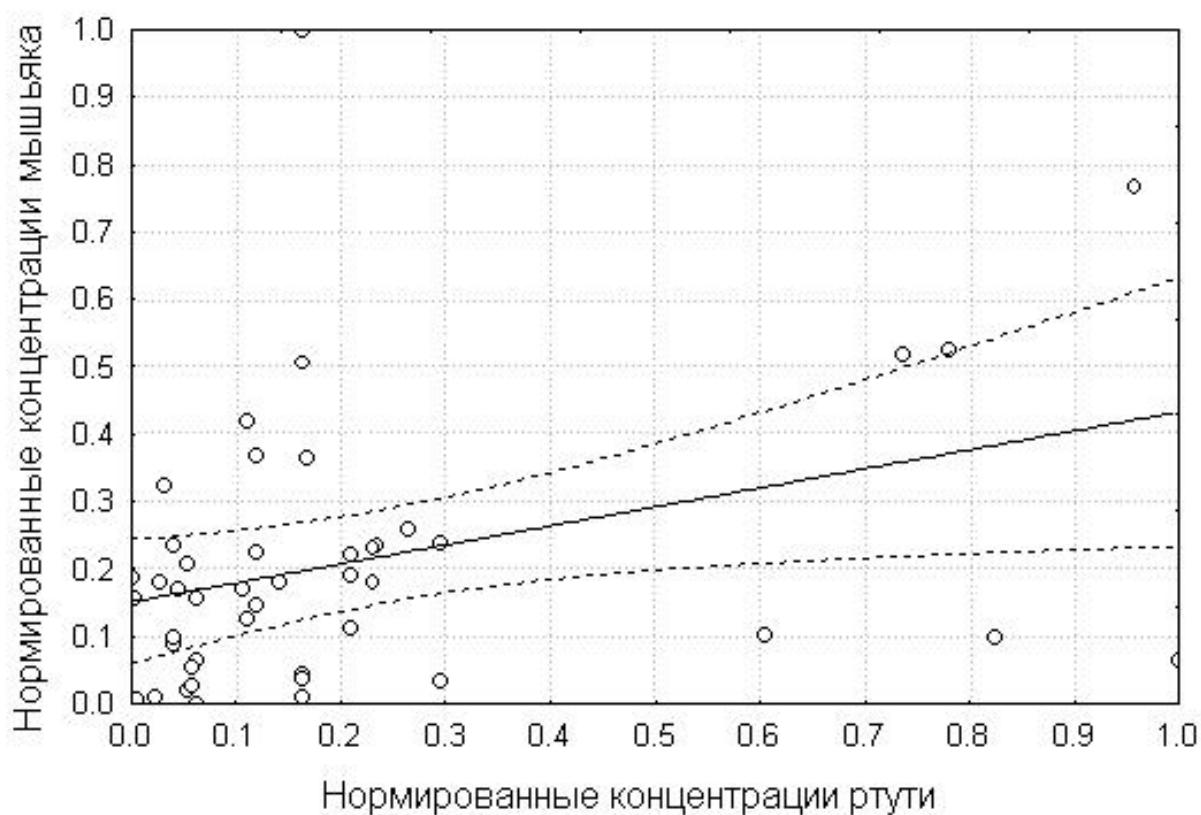


Рис. 7. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Hg в основных угольных пластах Красноармейского района

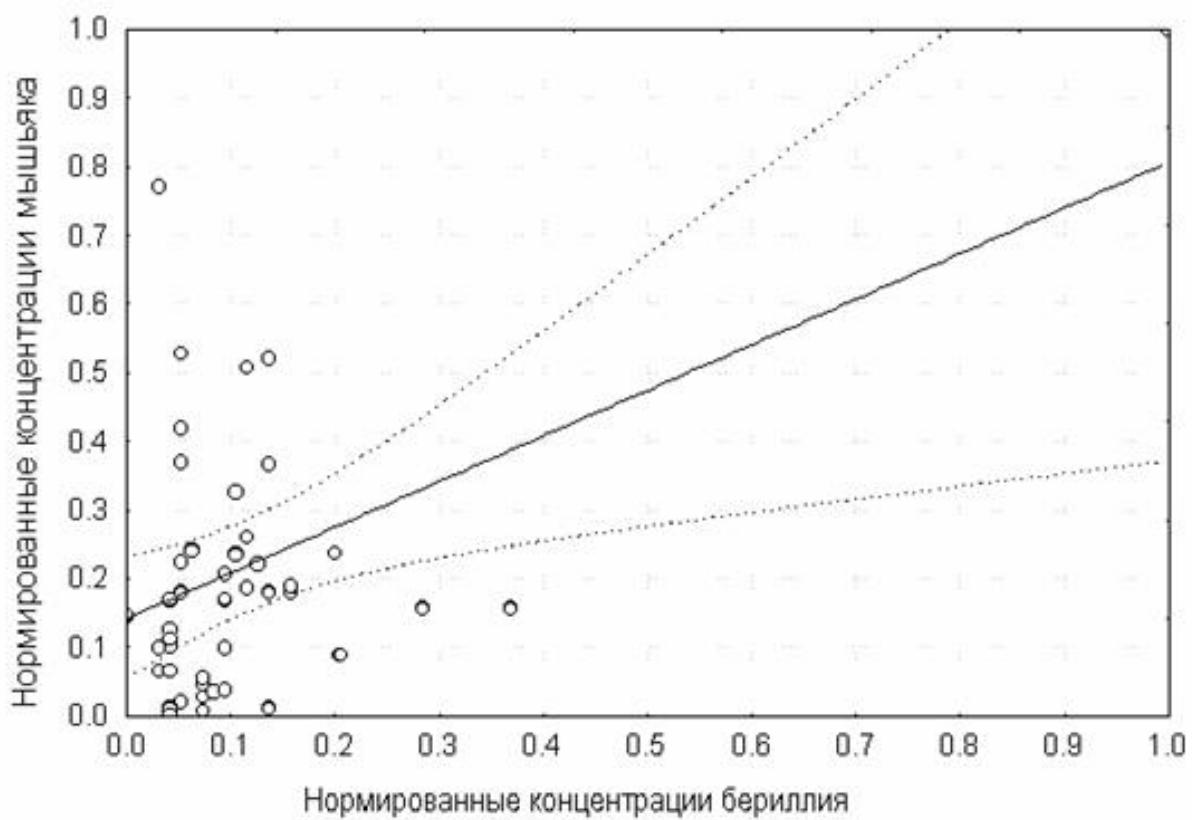


Рис. 8. Линия регрессии между средневзвешенными нормированными концентрациями As и Be в основных угольных пластах Красноармейского района

3) в углях Красноармейского района As образует геохимическую ассоциацию с Hg (значимый коэффициент корреляции Пирсона 0,39, график регрессии на рис. 7) и с Be (значимый линейный коэффициент корреляции 0,42, график регрессии на рис. 8), линейные уравнения регрессии:

$$As = 0,1512 + 0,28189Hg; \quad As = 0,1422 + 0,66404Be,$$

в то же время на отдельных участках исследованных пластов (с использованием метода Червякова В.А. [5] выявлена значимая положительная корреляционная связь As со Pb (участки Димитровский, Гапеевские и Лесовские) и Mn (участки Гапеевские и Северородинский 2);

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

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

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

Выводы.

1. Средние значения содержаний As в угле основных рабочих пластов Лисичанского и Красноармейского районов 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. В Лисичанском районе уголь всех пластов относящихся к первому кластеру по содержанию As может быть использован после обогащения в пищевой промышленности. Уголь всех пластов относящихся к первому и частично второму кластерам может быть использован по содержанию As без обогащения в энергетической и металлургической промышленности. В Красноармейском районе уголь всех пластов относящихся к первому кластеру по содержанию As может быть использован после обогащения в пищевой промышленности. Уголь всех пластов относящихся к первому, второму и частично третьему кластерам может быть использован по содержанию As без обогащения в энергетической и металлургической промышленностях. Уголь пластов относящихся к четвертому кластеру требует особого подхода в обогащении и шихтовки при любой области его использования.

2. В Лисичанском районе 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 . В Красноармейском районе аномально высокие концентрации As характерны для углей пластов h_6 , и k_7^1 (максимальное по району средневзвешенное содержание). В минимальном количестве As содержится в углях пластов k_5^H , k_5^B , l_4 , l_5^1 , l_6 , l_7^B , l_8^H .

3. Несмотря на отсутствие прямой связи содержаний As с зольностью и сернистостью углей в целом по районам, в то же время, для ряда пластов с повышенными концентрациями As такая зависимость приобретает статисти-

чески значимый характер. Это свидетельствует о разных формах нахождения As в углях районов. 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. Повышение концентраций As с увеличением степени углефикации углей связано с тем, что угли более высокой степени углефикации подвергались большим эпигенетическим преобразованиям и следовательно, вероятность эпигенетического привноса соединений As была более высокой.

4. Для углей Лисичанского района типоморфной является геохимическая ассоциация As с Be, F, Mn, Pb, а для углей Красноармейского - с Hg и Be.

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

Основное практическое значение полученных результатов состоит в классификации угольных пластов района по содержанию As, а так же в расчете уравнений регрессии между элементами, входящими в его 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., Михальченок 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 04.11.10*

АНАЛІЗ ДАНИХ В СИСТЕМІ ГІДРОГЕОХІМІЧНОГО МОНТОРИНГУ З ВИКОРИСТАННЯМ СПЛАЙН-Розподілу ВЕЙБУЛЛА

Предложена вычислительная технология восстановления сплайн-распределения Вейбулла с двумя узлами склеивания.

Запропонована обчислювальна технологія відновлення сплайн-розподілу Вейбулла з двома вузлами склеювання.

The computing technology of renewal a Veybull's spline-distributing with two knots of agglutination is offered.

Введение. В системах обработки статистических данных используются модели, которые основаны на распределениях Вейбулла, нормальному, экспоненциальному и других. Однако, в отдельных случаях, когда статистические данные были получены в условиях изменения физических процессов, это не всегда приводит к адекватным моделям распределений. Необходимость повышения достоверности оценки обуславила разработку новых обчислювальних технологій для систем обработки данных, которые базируются на сплайн-распределениях.

Сплайн-распределения эффективно описывают функцию интенсивности, которая имеет форму U-образной кривой. Таким образом, функция интенсивности является предусловием введения сплайн-распределения Вейбулла с двумя узлами склеивания.

Постановка проблемы. Для адекватного решения задачи системного анализа предлагаются обчислювальна технологія відновлення сплайн-розподілу Вейбулла з двома вузлами склеювання. Особливість задачі такого розподілу полягає в знаходженні оцінок параметрів та визначення місця розташування узлів по масиву статистичних даних $\Omega = \{t_i, i = \overline{1, n}\}$.

Аналіз досліджень і публікацій. Передусловом введению сплайн-распределения Вейбулла с двумя узлами склеювання были работы [1, 2]. Своё физическое обоснование и их адекватность подтверждается работой В.В. Болотина [3] и Ф.А. Сапожникова [4].

Виклад основного матеріалу. Предлагается функция распределения сплайн-Вейбулла с двумя узлами склеювання:

$$F(x) = \begin{cases} 1 - \exp\left(-\frac{x\beta_1}{\alpha_1}\right), & x \leq x_0 \\ 1 - \exp\left(-\frac{x_0\beta_1}{\alpha_1}\left(\frac{x}{x_0}\right)^{\beta_2}\right), & x_0 \leq x \leq x_1 \\ 1 - \exp\left(-\frac{x_0\beta_1}{\alpha_1}\left(\frac{x_1}{x_0}\right)^{\beta_2}\left(\frac{x}{x_1}\right)^{\beta_2}\right), & x \geq x_1 \end{cases} \quad (1)$$

де x_0, x_1 вузли склеювання.

Для подальшого аналізу оцінок параметрів за статистичними даними функція розподілу (1) приводиться до лінійної форми:

$$z(t) = \begin{cases} A + \beta_1 \cdot t, & t \leq T_0 \\ z(T_0) + \beta_2(t - T_0), & T_0 \leq t \leq T_1 \\ z(T_1) + \beta_3(t - T_1), & t \geq T_1 \end{cases}$$

де

$$\begin{aligned} A &= -\ln \alpha_1; \\ t &= \ln x; \\ T_0 &= \ln x_0; \\ T_1 &= \ln x_1; \\ z(t) &= \ln \ln \frac{1}{1 - F(x)}; \\ z(T_0) &= A + \beta_1 T_0; \\ z(T_1) &= A + \beta_1 T_0 + \beta_2(T_1 - T_0) \end{aligned}$$

Оцінки параметрів $\hat{A}, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3, \hat{t}_0, \hat{t}_1$ належать:

$$\rho_0 = \min_{\substack{k=3, n-4, \\ m=k+1, n-4}} \sup_{i=1, n} \left| F_n(x_i) - \hat{F}(x_i, \hat{\alpha}_{k,m}, \hat{\beta}_{1,k,m}, \hat{\beta}_{2,k,m}, \hat{\beta}_{3,k,m}) \right| \quad (2)$$

Вважаючи, що вузли склеювання \hat{T}_0 та \hat{T}_1 співпадають з варіантами t_k та t_m відповідно, оцінки параметрів $\hat{A}, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$ при фіксованих k, m належать за методом найменших квадратів (МНК), тобто з умови мінімуму залишкової дисперсії:

$$\begin{aligned} S_{\text{зal}}^2 &= \frac{1}{n-5} \left[\sum_{i=1}^k (z_i - A - \beta_1 t_i)^2 + \sum_{i=k+1}^m (z_i - \hat{z}(T_0) - \beta_2(t_i - T_0))^2 + \right. \\ &\quad \left. + \sum_{i=m+1}^{n-1} (z_i - \hat{z}(T_1) - \beta_3(t_i - T_1))^2 \right] \end{aligned} \quad (3)$$

Вираз (3) можна подати у вигляді суми трьох доданків

$$S_{\text{зal}}^2 = \frac{1}{n-5} (S_{o1}^2 + S_{o2}^2 + S_{o3}^2),$$

де

$$S_{\text{зal1}}^2 = \frac{1}{n-5} \sum_{i=1}^k (z_i - A - \beta_1 t_i)^2; \quad (4)$$

$$S_{\text{зal2}}^2 = \frac{1}{n-5} \sum_{i=k+1}^m (z_i - \hat{z}(T_0) - \beta_2(t_i - T_0))^2; \quad (5)$$

$$S_{\text{зal3}}^2 = \frac{1}{n-5} \sum_{i=m+1}^{n-1} (z_i - \hat{z}(T_1) - \beta_3(t_i - T_1))^2. \quad (6)$$

Тим самим, мінімізація виразу (3) зводиться до мінімізації функціоналів (4) – (6) окремо. Необхідна умова мінімуму залишкової дисперсії (3) еквівалентна розв'язанню такої системи лінійних рівнянь:

$$\begin{cases} A + \beta_1 \bar{t} = \bar{z}, \\ A \bar{t} + \beta_1 \bar{t}^2 = \bar{zt} \end{cases} \quad (7)$$

З рішення системи (7) отримують значення оцінок параметрів

$$\hat{A} = \frac{\bar{z} \cdot \bar{t}^2 - \bar{t} \cdot \bar{zt}}{\bar{t}^2 - \bar{t}^2},$$

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\bar{zt} - \bar{z} \cdot \bar{t}}{\bar{t}^2 - \bar{t}^2}. \quad (8)$$

З урахуванням зв'язку між оцінками параметрів \hat{A}_{km} та $\hat{\alpha}_{km}$, визначається оцінка останнього

$$\hat{\alpha}_{km} = \exp(\hat{A}_{km}). \quad (9)$$

З умови мінімуму виразу (6) отримують оцінку параметра $\hat{\beta}_2$

$$\hat{\beta}_2 = \frac{(z_i - \hat{z}_i(T_0))(t_i - T_0)}{(t_i - T_0)^2}. \quad (10)$$

Мінімізація функціоналу (7) дозволяє одержати оцінку $\hat{\beta}_3$ у вигляді

$$\hat{\beta}_3 = \frac{(z_i - \hat{z}_i(T_1))(t_i - T_1)}{(t_i - T_1)^2}. \quad (11)$$

Призначення довірчих інтервалів для параметрів $\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ виконується за співвідношенням

$$\hat{\Theta} - t_{\alpha/2, \nu} \sqrt{D(\hat{\Theta})} \leq \Theta \leq \hat{\Theta} + t_{\alpha/2, \nu} \sqrt{D(\hat{\Theta})},$$

де

Θ – значення параметра; $\hat{\Theta}$ – оцінка параметра; $t_{\alpha/2}$ – квантиль розподілу Стьюдента з кількістю степенів вільності $\nu = n - 1$.

Визначення $D(\hat{A}), D(\hat{\beta}_1), D(\hat{\beta}_2), D(\hat{\beta}_3)$ здійснюється з дисперсійно-коваріаційної матриці

$$DC = S_{\text{зал}}^2 \cdot A^{-1},$$

де

$S_{\text{зал}}^2$ – залишкова дисперсія (3); A – матриця системи (7); A^{-1} – транспоновано-вана до матриці A .

$$DC = \begin{pmatrix} \frac{S_{\text{зал}}^2 \bar{t}^2}{(\bar{t}^2 - \bar{t})} & -\frac{S_{\text{зал}}^2 \bar{t}}{(\bar{t}^2 - \bar{t})} & 0 & 0 \\ \frac{S_{\text{зал}}^2 \bar{t}}{(\bar{t}^2 - \bar{t})} & \frac{S_{\text{зал}}^2}{(\bar{t}^2 - \bar{t})} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{S_{\text{зал}}^2}{(t - T_0)^2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{S_{\text{зал}}^2}{(t - T_1)^2} \end{pmatrix} \quad (12)$$

де

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^k t_i ; \quad \bar{t}^2 = \sum_{i=1}^k t_i^2 ;$$

$$\overline{(t - T_0)^2} = \sum_{i=k+1}^m (t_i - T_0)^2 ;$$

$$\overline{(t - T_1)^2} = \sum_{i=m+1}^{n-1} (t_i - T_1)^2 .$$

Тим самим, дисперсії $D(\hat{A}), D(\hat{\beta}_1), D(\hat{\beta}_2), D(\hat{\beta}_3)$ мають вигляд:

$$D(\hat{A}) = \frac{S_{\text{зал}}^2 \bar{t}^2}{(\bar{t}^2 - \bar{t})}; \quad D(\hat{\beta}_1) = \frac{S_{\text{зал}}^2}{(\bar{t}^2 - \bar{t})}; \quad (13)$$

$$D(\hat{\beta}_2) = \frac{S_{\text{зал}}^2}{(t - T_0)^2}; \quad D(\hat{\beta}_3) = \frac{S_{\text{зал}}^2}{(t - T_1)^2}.$$

Дисперсія $D(\hat{\alpha})$ визначається з урахуванням зв'язку між \hat{A}_{km} та $\hat{\alpha}_{km}$ за виразом

$$D(\hat{\alpha}) = \exp(-2\hat{A})D(\hat{A}). \quad (14)$$

Для отримання стійких оцінок реалізуються лінійна, ітераційна та робастна процедури, які наведені нижче.

Лінійна схема відтворення сплайн-Вейбулла з двома вузлами склеювання подана процедурою 1.

Процедура 1.

1. Вважаючи, що вузли склеювання функції розподілу T_0, T_1 співпадають з варіантами відповідно $t_k, t_m, 1, m = \overline{k+1, n-4}$, обчислюють

для кожного $T_{0k} = t_k$ та $T_{0m} = t_m$ оцінки параметрів $\hat{\alpha}_{km}, \hat{\beta}_{1km}, \hat{\beta}_{2km}, \hat{\beta}_{3km}$ за співвідношеннями (8) – (11).

2. Для вузлів $T_{0k} = t_k$ та $T_{0m} = t_m$ $k = \overline{3, n-4}$, $m = \overline{k+1, n-4}$ в кожній точці варіаційного ряду обчислюють значення теоретичної функції розподілу $F = (x_i; \alpha_{km}; \hat{\beta}_{1km}; \hat{\beta}_{2km}; \hat{\beta}_{3km})$.
3. З умови (2), визначають місцезнаходження вузлів склеювання $T_0 = t_k$ та $T_0 = t_m$ і приписані вузлам оцінки параметрів $\hat{\alpha} = \hat{\alpha}_{km}$, $\hat{\beta}_1 = \hat{\beta}_{1km}$, $\hat{\beta}_2 = \hat{\beta}_{2km}$, $\hat{\beta}_3 = \hat{\beta}_{3km}$.
4. Оцінка точності параметрів характеризується дисперсіями $D(\hat{\alpha})$, $D(\hat{\beta}_1)$, $D(\hat{\beta}_2)$, $D(\hat{\beta}_3)$, які обчислюються за (13 – 14). Довірчі граници для параметрів $\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3$ обчислюються з довірчою ймовірністю $\gamma = 1 - \alpha$ з виразів

$$\begin{aligned}\alpha_{n,\alpha} &= \hat{\alpha} \mp t_{\nu,\alpha}/2 \sqrt{D(\hat{\alpha})}; \\ \beta_{j,n,\alpha} &= \hat{\beta}_j \mp t_{\nu,\alpha}/2 \sqrt{D(\hat{\beta}_j)}, \quad j = 1, 2, 3\end{aligned}$$

де $t_{\nu,\alpha}/2$ – квантиль розподілу Стьюдента з числом ступенів вільності $\nu = n - 1$.

В подальшому викладенні надається ітераційна [5, 6] та робастна [7, 8] обчислювальні схеми знаходження оцінок параметрів сплайн-розподілу Вейбулла з двома вузлами склеювання.

Оцінки параметрів находяться з умови мінімуму функціоналів аналогічних до (4 – 6) відповідно обчислювальним схемам з урахуванням вагових коефіцієнтів

$$S_{\text{зал1}}^2 = \frac{1}{n-5} \sum_{i=1}^k g_i (z_i - A - \beta_1 t_i)^2; \quad (15)$$

$$S_{\text{зал2}}^2 = \frac{1}{n-5} \sum_{i=k+1}^m g_i (z_i - \hat{z}(T_0) - \beta_2 (t_i - T_0))^2; \quad (16)$$

$$S_{\text{зал3}}^2 = \frac{1}{n-5} \sum_{i=m+1}^{n-1} g_i (z_i - \hat{z}(T_1) - \beta_3 (t_i - T_1))^2. \quad (17)$$

Ваги для ітераційної процедури

$$g_i = \left[\frac{F_{ni} - \hat{F}(x_i)}{z_i - \hat{z}(t_i)} \right]^2, \quad (18)$$

де F_{ni} – значення емпіричної функції розподілу;

$\hat{F}(x_i)$ – значення відтвореної теоретичної функції розподілу (1);

$z_i = \ln \ln \frac{1}{1 - F_{ni}}$; $\hat{z}(t_i)$ обчислюється за (2).

Ваги для робастної процедури

$$g_i = \varphi_i p_i, \quad (19)$$

де

$$\varphi_i = \left[\frac{\partial z_i(F_{ni})}{\partial F_n(t_i)} \right]^{-2} = (1 - F_{ni})^2 \ln^2(1 - F_{ni});$$

$$p_i = \begin{cases} (1 - u_i)^2, & u_i^2 < 1 \\ 0, & u_i^2 \geq 1 \end{cases}; \quad u_i = \frac{|e_i|}{cq_i},$$

де q – медіана абсолютних значень залишків e_i ;

c – константа, що приймає значення із проміжку $[6; 9]$;

e_i – залишки

$$e_i = \sqrt{\varphi_i}(z_i - \hat{z}(t_i)).$$

Ітераційна обчислювальна схема подається процедурою 2

Процедура 2.

1. Для $j = 0$, $g_j^{(0)} = 1$, $k = \overline{3, n-4}$, $m = \overline{k+1, n-4}$ застосовується процедура 1 з урахуванням вагових коефіцієнтів. Отримують масив оцінок параметрів і масив значень функціонала

$$R_{jkm} = R\left(\hat{A}_{km}^{(j)}, \hat{\beta}_{1km}^{(j)}, \hat{\beta}_{2km}^{(j)}, \hat{\beta}_{3km}^{(j)}, t_k^{(j)}, t_m^{(j)}\right) = \sum_{i=1}^k \left(z_i - \hat{A}_{km}^{(j)} - \hat{\beta}_{1km}^{(j)} t_i\right)^2 g_i^{(j)} + \sum_{i=k+1}^m \left(z_i - \hat{z}\left(t_k^{(j)}\right) - \hat{\beta}_{2km}^{(j)} \left(t_i - t_k^{(j)}\right)\right)^2 g_i^{(j)} + \sum_{i=m+1}^{n-1} \left(z_i - \hat{z}\left(t_m^{(j)}\right) - \hat{\beta}_{3km}^{(j)} \left(t_i - t_m^{(j)}\right)\right)^2 g_i^{(j)}$$

2. Находять

$$R_j = \min_{k=3, n-4, m=k+1, n-4} R_{jkm} \quad (20)$$

Значення t_k, t_m , при яких досягається R_0 (20), та

$\hat{\alpha}_{km}^{(j)}, \hat{\beta}_{1km}^{(j)}, \hat{\beta}_{2km}^{(j)}, \hat{\beta}_{3km}^{(j)}, t_k, t_m$ приймаються за оцінки першого наближення.

3. Послідовно для $j = 1, 2, 3, \dots$ обчислюється $g_i^{(j)}$, $i = \overline{1, n-1}$ та застосовується процедура 1, з урахуванням визначених вагових коефіцієнтів. При цьому, на кожній ітерації визначають $R_{jkm} = R\left(\hat{\alpha}_{km}, \hat{\beta}_{1km}, \hat{\beta}_{2km}, \hat{\beta}_{3km}, t_k, t_m\right)$ та R_j за (20).

4. Перевіряється умова

$$R_j \leq R_{j+1} \quad (21)$$

Якщо (21) виконується, то ітераційний процес завершується, і за $\hat{\alpha}, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3, \hat{x}_0, \hat{x}_1$ приймають оцінки, знайдені на j -ї ітерації. У протилежному випадку, обчислення повторюється для $j = 2, 3, \dots$ до тих пір, поки не буде виконана нерівність (21).

Робастна обчислювальна схема подається процедурою 3.

Процедура 3.

1. Обчислюються значення початкових оцінок параметрів $\hat{\alpha}, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3, t_k, t_m$ та визначається місце знаходження вузлів $t_k = t_{0k}, t_m = t_{0m}$ з умови мінімуму функціоналів (15 – 17), (20), коли $g_i^{(0)} = \varphi_i$.
2. На наступних ітераціях $j = 1, 2, 3, \dots$ уточнюються значення оцінок параметрів шляхом мінімізації функціоналів (15 – 17) з урахуванням вагових коефіцієнтів $g_i^{(j)}$, що обчислюються за (19).
3. Критерієм закінчення роботи процедури відтворення сплайн-розподілу є досягнення заданої відносної точності ε між оцінками j -ої та $(j-1)$ -ої ітераціями

$$\left| \frac{\hat{\alpha}^{(j)} - \hat{\alpha}^{(j-1)}}{\hat{\alpha}^{(j-1)}} \right| < \varepsilon;$$

$$\left| \frac{\hat{\beta}_s^{(j)} - \hat{\beta}_s^{(j-1)}}{\hat{\beta}_s^{(j-1)}} \right| < \varepsilon, \quad s = 1, 2, 3.$$

Для обчислювальних схем відтворення сплайн-розподілу Вейбулла з двома вузлами склеювання перевірка адекватності проводилася на даних імітаційного моделювання. Моделювання здійснювалося для масивів даних розподілених за сплайн-розподілом Вейбулла з двома вузлами склеювання та відтворенням функцій розподілу.

Результати моделювання: знайдені параметри, оцінки параметрів моделювання та значення статистики u наведені в таблицях 1, 2, 3 для лінійної, ітераційної та робастної процедур відповідно.

Перевірка вірогідності відтворення сплайн-розподілу Вейбулла з двома вузлами склеювання може бути здійснена на основі критерію згоди Колмогорова.

Якщо $|u| \leq u_{\alpha/2, \nu}$, то з надійною імовірністю $1 - \alpha$ оцінка параметра статистично дорівнює значенню параметра. При проведенні експерименту обрано $\alpha = 0,05$. Для параметрів $\hat{\alpha}, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$ u -статистика визначається як

$$u = \frac{\Theta - \hat{\Theta}}{\sqrt{D(\hat{\Theta})}}.$$

В таблицях 1 – 4 наведені результати експериментів.

Таблиця 1

Результати моделювання та відтворення розподілу сплайн-Вейбулла з двома вузлами склеювання лінійною процедурою
(параметри: $\alpha = 200$, $\beta_1 = 0,8$, $\beta_2 = 3$, $\beta_3 = 1,8$, $x_0 = 100$, $x_1 = 200$)

	$n = 500$	$n = 1000$	$n = 2000$
$\hat{\alpha}$	296,31	174,79	153,1
$\sigma(\hat{\alpha})$	195,76	76,56	30,51
$ u $ статистика	0,49	0,33	1,57
$\hat{\beta}_1$	0,89	0,75	0,73
$\sigma(\hat{\beta}_1)$	0,16	0,11	0,07
$ u $ статистика	0,59	0,47	1,36
$\hat{\beta}_2$	2,74	3,03	2,98
$\sigma(\hat{\beta}_2)$	0,42	0,34	0,17
$ u $ статистика	0,6	0,09	0,01
$\hat{\beta}_3$	1,97	1,78	1,79
$\sigma(\hat{\beta}_3)$	0,91	0,55	0,29
$ u $ статистика	0,18	0,04	0,03
x_0	97,9	95,4	98,3
x_1	204,9	192,2	197,93

Таблиця 2

Результати моделювання та відтворення розподілу сплайн-Вейбулла з двома вузлами склеювання ітераційною процедурою
(параметри: $\alpha = 200$, $\beta_1 = 0,8$, $\beta_2 = 3$, $\beta_3 = 1,8$, $x_0 = 100$, $x_1 = 200$)

	$n = 500$	$n = 1000$	$n = 2000$
$\hat{\alpha}$	119,44	248,22	254,95
$\sigma(\hat{\alpha})$	107,1	223,73	135,53
$ u $ статистика	0,75	0,22	0,41
$\hat{\beta}_1$	0,71	0,86	0,84
$\sigma(\hat{\beta}_1)$	0,19	0,2	0,11
$ u $ статистика	0,47	0,32	0,35
$\hat{\beta}_2$	2,9	2,82	3,17
$\sigma(\hat{\beta}_2)$	0,14	0,1	0,07
$ u $ статистика	0,73	1,71	1,44
$\hat{\beta}_3$	1,94	1,59	1,89
$\sigma(\hat{\beta}_3)$	0,44	0,43	0,16
$ u $ статистика	0,32	0,5	0,57
x_0	101,1	99,8	100,6
x_1	200,4	214,2	193,9

Таблиця 3

Результати моделювання та відтворення розподілу сплайн-Вейбулла з двома вузлами склеювання робастною процедурою
(параметри: $\alpha = 200$, $\beta_1 = 0,8$, $\beta_2 = 3$, $\beta_3 = 1,8$, $x_0 = 100$, $x_1 = 200$)

	$n = 500$	$n = 1000$	$n = 2000$
$\hat{\alpha}$	124,53	213,76	268,43
$\sigma(\hat{\alpha})$	104,45	213,23	168,58
$ u $ статистика	0,72	0,06	0,4
$\hat{\beta}_1$	0,72	0,85	0,84
$\sigma(\hat{\beta}_1)$	0,18	0,19	0,14
$ u $ статистика	0,44	0,26	0,3
$\hat{\beta}_2$	2,8	2,9	3,06
$\sigma(\hat{\beta}_2)$	0,18	0,3	0,09
$ u $ статистика	1,1	0,33	0,67
$\hat{\beta}_3$	1,87	1,79	1,86
$\sigma(\hat{\beta}_3)$	0,32	0,54	0,25
$ u $ статистика	0,21	0,02	0,24
x_0	102,6	98,4	101,2
x_1	200,5	205,4	198,9

Таблиця 4

Результати моделювання та відтворення розподілу сплайн-Вейбулла з двома вузлами склеювання методом максимальної правдоподібності (ММП)

	$n = 500$	$n = 1000$	$n = 2000$
$\hat{\alpha}$	298,46	245,21	262,52
$\sigma(\hat{\alpha})$	197,23	233,13	147,51
$ u $ статистика	0,9	0,27	0,38
$\hat{\beta}_1$	0,17	0,88	0,89
$\sigma(\hat{\beta}_1)$	3,28	0,26	0,13
$ u $ статистика	0,39	0,29	0,31
$\hat{\beta}_2$	1,99	2,72	3,27
$\sigma(\hat{\beta}_2)$	0,89	0,15	0,14
$ u $ статистика	1,58	1,65	1,51
$\hat{\beta}_3$	1,41	1,47	1,69
$ u $ статистика	0,47	0,51	0,18
x_0	0,52	0,6	0,67
x_1	97,5	98,8	99,6

Аналіз даних таблиць 1 – 4 дозволяє зробити висновки:

– при збільшенні об’єму вхідних даних оцінки параметрів розподілу збігаються до істинних з $n \geq 500$.

– оцінки параметрів $\hat{\alpha}$, $\hat{\beta}_1$, $\hat{\beta}_2$, $\hat{\beta}_3$ найбільш адекватні до істинних параметрів
розподілу відновлюються ітераційною процедурою.

– досліджено обчислювальні схеми відновлення за МНК, ММП та показано, що найбільш адекватні результати отримані на основі лінійної процедури МНК.

Розглянемо запропоновану обчислювальну технологію на даних Північного гірничо-збагачувального комбінату для хімічного елементу хлор-іон (Cl^-). Для об’єму даних $n = 120$.

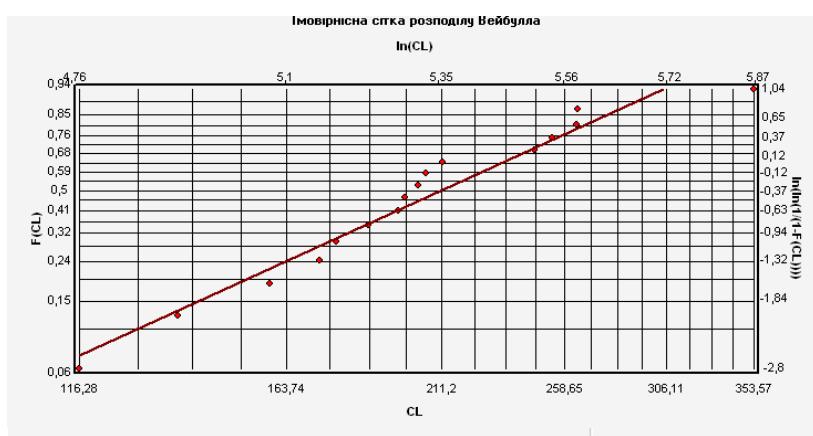


Рис. 1. Імовірнісна сітка розподілу Вейбулла

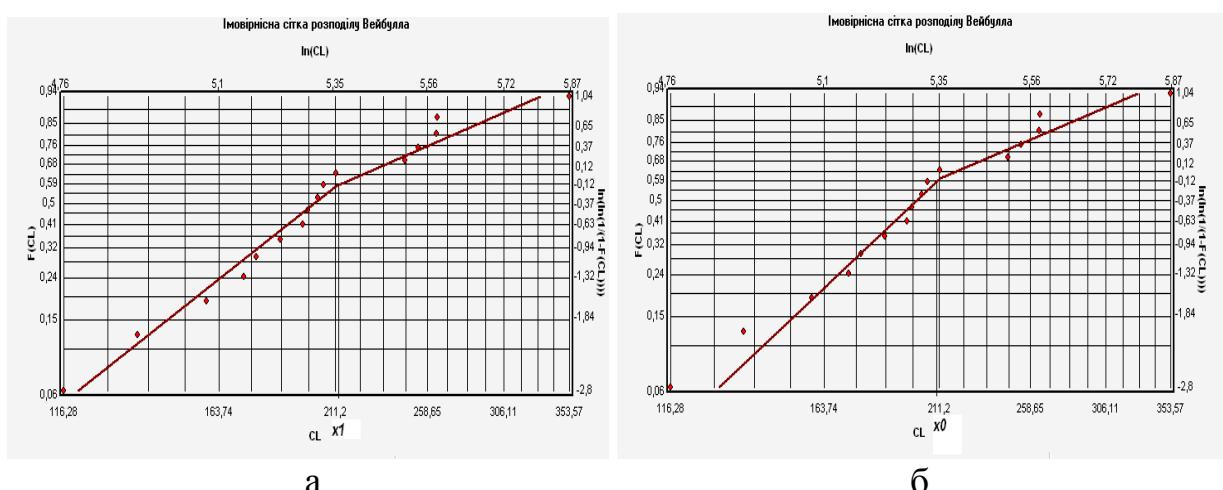
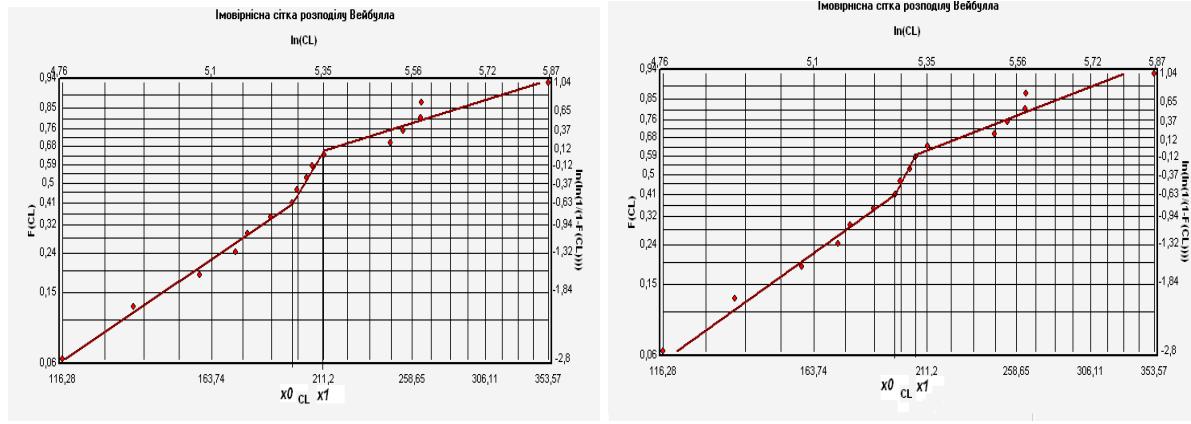


Рис. 2. Імовірнісна сітка розподілу сплайн-Вейбулла з одним вузлом склеювання: а – лінійна процедура; б – ітераційна процедура



а

б

Рис. 3. Імовірнісна сітка розподілу сплайн-Вейбулла з двома вузлами склеювання: а – лінійна процедура; б – ітераційна процедура

Оцінки параметрів відтворення розподілу Вейбулла, сплайн-Вейбулла з одним та двома вузлами склеювання за лінійною та ітераційною процедурою наведені в табл. 5 відповідно.

Таблиця 5

Оцінки параметрів відтворення розподілів

		процедура 1		процедура 2	
		Оцінка	σ	Оцінка	σ
розподіл Вейбулла	$\hat{\alpha}$	31419,45	20873,42	36320,4	21852,31
	$\hat{\beta}_1$	3,81	0,23	3,16	0,197
	$P(z)$	0,466		0,362	
сплайн-розподіл Вейбулла з одним вузлом	$\hat{\alpha}$	318300	168997,1	164400	113401,9
	$\hat{\beta}_1$	4,71	0,071	5,57	0,21
	$\hat{\beta}_2$	2,62	0,106	2,51	0,11
	x_0	211,65		211,65	
	$P(z)$	0,763		0,829	
сплайн-розподіл Вейбулла з двома вузлами склеювання	$\hat{\alpha}$				
	$\hat{\beta}_1$	4,152	0,23	4,38	0,51
	$\hat{\beta}_2$	10,11	1,33	12,18	1,87
	$\hat{\beta}_3$	1,93	0,28	2,39	0,26
	x_0	193,82		196,82	
	x_1	211,65		205,82	
	$P(z)$	0,856		0,847	

З аналізу рис. 1 – 3 та табл. 5 випливає, що найбільш адекватним є сплайн-розділу Вейбулла з двома вузлами склеювання.

Висновки. Запропонована обчислювальна технологія відтворення сплайн-розділу Вейбулла з двома вузлами має найбільш вірогідну оцінку статистичних даних.

Список літератури

1. Балог, А. Математические вопросы исследования долговечности и надежности деталей в технике связи. Тр. Конф. Hiradust Tumomar EYYES. – Budapest, 1764. – С. 187.
2. Сапожников, Ф.А. Обобщенный закон надежности / Ф.А. Сапожников, Н.А. Филадельфина / Тр. Ленингр. механ. ин-та. – 1967. Вып. 63. С. 4 – 11.
3. Болотин, В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. М.: машиностроение, 1984. – 312 с.
4. Фрейденталь, А.М. Статистический подход к хрупкому разрушению / под. ред. Г. Либовица / Математические основы теории разрушения М.: Мир. 1975. – С. 616 – 645.
5. Приставка, А.Ф. ОСТ 54 30011–82 Правила определения оценок, доверительных границ параметров и теоретической функции сплайн-распределения Вейбулла с одним узлом / А.Ф. Приставка, Н.Л. Малаховская / Введ. МГА 07.01.83.
6. Приставка, А.Ф. Сплайн-распределения в статистическом анализе изд. ДНУ, 1995 – 152с.
7. Приставка, А.Ф. Вычислительные методы и программная середа корреляционного и регрессионного анализа / А.Ф. Приставка, А.И. Передерий, О.В. Райко, В.М. Остропицкий / Учебное пособие. – Дн-ск: ДДУ, 1996. – 192 с.
8. Приставка, А.Ф. Проверка гипотезы о нормальном и сплайн-нормальном распределении одномерной случайной величины / А.Ф. Приставка, В.В. Кармазина / Математические методы решения задач оптимального управления на ЭВМ. – Дн-ск: ДГУ, 1974 – С. 46 – 55.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.
Надійшла до редакції 04.11.10*

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

- Анисимов Олег Александрович** – к.т.н., старший научный сотрудник Института по проектированию горных предприятий НГУ, г. Днепропетровск
- Бабенко Татьяна Васильевна** – д.т.н., профессор каф. программного обеспечения компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск
- Балашов Сергей Васильевич** – к.т.н., доц. каф. основ конструирования механизмов и машин НГУ, г. Днепропетровск
- Баранов Юрий Дмитриевич** – к.т.н., горный инженер, директор Вольногорского ГМК
- Березницкий Зиновий Семёнович** – старший научный сотрудник Днепродзержинского филиала ГИАП
- Білоус Олена Іванівна** – к.т.н., доцент кафедри металургійного обладнання
Дніпродзержинського державного технічного університету, Україна
- Бойко В.В.** – к. т. н. Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ
- Бойко Владимир Александрович** – д. т. н., профессор кафедры АОТ НГУ, г. Днепропетровск
- Бойко Олег Александрович** – ассистент кафедры автоматизации и компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск
- Выпанаценко Станислав Иванович** – доктор технических наук, профессор кафедры систем электроснабжения НГУ, г. Днепропетровск
- Гаврюк Георгий Федорович** – к.т.н., доцент каф. маркшейдерии НГУ, г. Днепропетровск
- Галата А. В.** – доцент каф. экологии ДНТУ, г. Днепродзержинск
- Гаранжа Дмитро Миколайович** – аспірант кафедри САiУ НГУ, м. Дніпропетровськ
- Герасименко Володимир Олександрович** – к.х.н., доцент кафедри біотехнології та безпеки життєдіяльності Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпропетровськ
- Голинько Василь Иванович** – д.т.н., профессор, зав. каф. АОП НГУ, м. Дніпропетровськ
- Даценко Александр Иванович** – студент Днепродзержинского государственного технического университета
- Дичковський Роман Омелянович** – к.т.н., доцент кафедри ПРР НГУ, м. Дніпропетровськ
- Дрешпак Наталія Станиславовна** – аспирант кафедры метрологии и информационно-измерительных технологий НГУ, г. Днепропетровск
- Дриженко Анатолий Юрьевич** – д.т.н., профессор кафедры ОГР НГУ, г. Днепропетровск
- Дудля Николай Андреевич** – к.т.н., профессор каф. буровзрывных работ НГУ, г. Днепропетровск
- Єгоров Павло Олексійович** – к.х.н., професор завідувач кафедри хімії НГУ, м. Дніпропетровськ
- Єрещенко Наталія Миколаївна** – асистент кафедри математичного забезпечення ЕОМ ДНУ, м. Дніпропетровськ
- Желдак Тімур Анатолійович** – к.т.н., доц. кафедри САiУ НГУ, м. Дніпропетровськ
- Жупиев Александр Леонидович** – старший проподаватель кафедры горных машин и инжиниринга НГУ, г. Днепропетровск
- Заболотный Константин Сергеевич** – д.т.н., профессор кафедры горных машин и инжиниринга НГУ, г. Днепропетровск
- Заиченко Виктор Анатольевич** – научный сотрудник Института по проектированию горных предприятий НГУ, г. Днепропетровск
- Зберовский Александр Владиславович** – д. т. н., професор, зав. кафедры экологии ДНТУ, г. Днепродзержинск
- Зберовский Александр Владиславович** – д. т. н., професор, зав. кафедры экологии ДНТУ, г. Днепродзержинск
- Зберовский Василий Владиславович** – к.т.н., с.н.с. ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск
- Зуєвська Н.В.** – к.т.н., доцент кафедри геобудівництва та гірничих технологій, Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ
- Иконников Максим Юрьевич** – к.т.н., асистент каф. АОТ НГУ, г. Днепропетровск
- Иконников Юрий Радионович** – к.т.н., доцент каф. АОТ НГУ, г. Днепропетровск
- Ишков Валерий Валериевич** – к. г.-м. н., зав. каф. минералогии и петрографии НГУ, г. Днепропетровск
- Казола Аугушто Домингуш** – аспирант кафедры ОГР НГУ г. Днепропетровск
- Ковров Александр Станиславович** – асистент кафедры экологии НГУ, г. Днепропетровск
- Колосов Дмитро Леонідович** – к. т. н., доцент кафедри будівельної, теоретичної і прикладної механіки НГУ, м. Дніпропетровськ

Котляров Александр Константинович – к.т.н., главный научный сотрудник НПО «Красный металлист», г. Конотоп, Украина

Кривцун Геннадий Павлович – к.т.н., доцент каф. АОТ НГУ, г. Днепропетровск

Кузнецов Георгий Витальевич – д.т.н., профессор, зав. кафедры электроники и вычислительной техники НГУ, м. Дніпропетровськ, Україна

Лебедев Яков Яковлевич – к.т.н., доцент каф. АОТ НГУ, г. Днепропетровск

Лисицька Світлана Майорівна – к. с.-г. н., доцент кафедри хімії НГУ, м. Дніпропетровськ

Маевский Анатолий Марьянович – старший научный сотрудник, доцент кафедры открытых горных работ НГУ, г. Днепропетровск

Марченко Вячеслав Владимирович – аспирант НГУ, г. Днепропетровск

Марченко Вячеслав Владимирович – ассистент каф. АОТ НГУ, г. Днепропетровск

Менделеенко Г.А. – студентка ДНТУ, г. Днепродзержинск

Мещеряков Леонид Иванович – д.т.н., доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем НГУ, г. Днепропетровск

Назаренко Алексей Николаевич – доцент кафедры теплоэнергетики Запорожской государственной инженерной академии, Украина

Познанский Павел Сергеевич – аспирант кафедры автоматизированного управления технологическими процессами топливно-энергетического комплекса ДонГТУ, г. Донецк

Ирклиевский Владимир Денисович – кандидат технических наук, профессор, заведующий кафедры автоматизированного управления технологическими процессами топливно-энергетического комплекса Донбасского государственного технического университета

Приставка Олександр Пилипович – д.т.н., проф. кафедри математичного забезпечення ЕОМ ДНУ, м. Дніпропетровськ

Руських Владислав Васильович – к.т.н., доцент кафедри ПРР НГУ, м. Дніпропетровськ

Рыбалко Анатолий Яковлевич – к. т. н., профессор кафедры систем электроснабжения НГУ, г. Днепропетровск

Сарычева Людмила Виссарионовна – к.т.н., доцент каф. геоинформационных систем НГУ, г. Днепропетровск

Сергеева Екатерина Леонидовна – ассистент кафедры геоинформационных систем НГУ, г. Днепропетровск

Скиба Галина Віталіївна – к.т.н., кафедра природничих наук Житомирський державний технологічний університет, Україна

Слащев Ігорь Николаевич – к.т.н., старший научный сотрудник ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

Слєсарєв Володимир Вікторович – д.т.н., проф., декан факультету інформаційних технологій НГУ, м. Дніпропетровськ

Собко Борис Ефимович – д.т.н., старший научный сот рудник, руководитель Учебно-научного центра горных информационных технологий НГУ, г. Днепропетровск, Украина

Собко Борис Ефимович – д.т.н., старший научный сот рудник, руководитель Учебно-научного центра горных информационных технологий НГУ, г. Днепропетровск

Соснина Елизавета Николаевна – младший научный сотрудник кафедры горных машин и инжиниринга НГУ, г. Днепропетровск

Станіна Ольга Дмитрівна – студентка кафедри САiУ НГУ, м. Дніпропетровськ

Тимошенко Євген Вікторович – аспірант кафедри ПРР НГУ, м. Дніпропетровськ

Трофименко Мария Алексеевна – к.х.н., доцент каф. экологии и охраны окружающей среды Днепродзержинского государственного технического университета

Фролова Лілія Анатоліївна – доцент кафедри ТНР та Е, ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Хлевнюк Т. В. – к.т.н. Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ

Чала О.М. – інженер Інститут гідромеханіки НАН України, м. Київ

Чеберячко Сергей Иванович – к.т.н., доцент кафедры АОТ НГУ, г. Днепропетровск

Чжан Гуаньцюань – студент ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Шапа Микола Миколайович – асистент кафедри ТНР та Е ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», м. Дніпропетровськ

Шустов Олександр Олександрович – аспирант каф. ВГР НГУ, м. Дніпропетровськ

Щербаков Петр Николаевич – к.т.н., доц. каф высшей математики НГУ, г. Днепропетровск

ЗМІСТ

1.	А.Ю. Дриженко, О.О. Анісімов, О.О. Шустов Обґрунтування параметрів розробки обводнених порід розкриву в умовах буровугільних кар'єрів.....	5
2.	П.М. Щербаков, С.В. Балашов Статистичний підхід до обґрунтування параметрів буро-вибухових робіт на кар'єрах	12
3.	К.С. Заболотный, А.Л. Жупиев, Е.Н. Соснина Моделирование несимметричной нагрузки разрезных барабанов шахтных подъемных машин.....	21
4.	Б.Ю. Собко, О.В. Зберовський, В.В. Марченко Розробка системи дистанційного контролю продуктивності роторних екскаваторів	29
5.	Ю.Р. Иконников, Е.А. Слащева, М.Ю. Иконников Влияние посадок основной кровли на всплески выделения метана в горные выработки	35
6.	В.В. Слессарев, Т.А. Желдак, Д.М. Гаранжа, О.Д. Станіна Оптимізація розкроювання продукції прокатного виробництва з використанням методу пошуку із заборонами	41
7.	Н.С. Дрешпак, С.І. Випанасенко Обґрунтування доцільності частотно-імпульсного регулювання потужності в електротехнології індукційного нагріву з'єднань деталей.....	51
8.	Г.Ф. Гаврюк К вопросу оценки точности прогнозирования максимальных оседаний земной поверхности при подработках и водопонижении	56
9.	Н.С. Ремез, Н.Н. Богданова К расчету сейсмобезопасных параметров взрывных работ вблизи охраняемых объектов.....	62
10.	Г.В. Кузнецов, Л.І. Мещеряков, М.А. Дудля, Т.В. Бабенко Формування інформаційного і програмного забезпечення аск бурінням свердловин на багатопараметричній моделі	68
11.	А.Я. Рибалко Анализ воздействия на активное сопротивление многопроволочного провода с трубчатым проводящим слоем в сечении эффекта близости и поверхностного эффекта	75
12.	В.А. Бойко, О.А. Бойко О математическом описании процесса теплообмена между горным массивом и потоком проветривающего горную выработку воздуха и решении прикладных задач нормализации рудничного микроклимата	81
13.	В.А. Бойко, О.А. Бойко Аспекты решения проблемы нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса в период их проходки	91
14.	А.А. Юрченко Снижение выбросов при массовых взрывах в карьерах путём применения резиновой пробки с анкерным устройством в качестве забойки скважинных зарядов	111
15.	Е.Л. Сергеева Инвариантные интегральные характеристики мультиспектральных космических изображений	118
16.	Л.В. Сарычева, Е.В. Брызгалова Геоинформационная технология мониторинга городской застройки	123
17.	А.Д. Казола Состояние и перспективы открытой разработки алмазоносных месторождений Республики Ангола.....	132
18.	Д.Л. Колосов, О.І. Білоус Стійкість ступінчастого каната на барабані машини підйому підводного робота	137
19.	В.І. Голинько, А.К. Котляров Розработка универсальных широкодиапазонных анализаторов метана	142

20.	П.С. Познанский, В.Д. Ирклиевский Алгоритм обработки результатов измерения параметров энергетических характеристик	152
21.	М.А. Трофименко, З.С. Березницкий, А.И. Даценко Освоение ионообменной опытно-промышленной установки по утилизации «сокового пара».....	159
22.	А.Н. Назаренко К вопросу о прогнозировании толщины отложений в производственных коммуникациях	163
23.	С.И. Чеберячко, Н.Н.Наумов Анализ методов оценки эффективности противопылевых респираторов и фильтрующих материалов.....	167
24.	Г.В. Скиба Оцінка рівня техногенного впливу Дерибасівського кар'єру по видобутку габро на об'єкти довкілля	172
25.	Л.А. Фролова, Н.Н. Шапа, Г.Чжан Использование ультразвуковой обработки в технологии очистки железосодержащих сточных вод	177
26.	П.О. Єгоров, С.М. Лисицька, В.О. Герасименко Хімічні перетворення деяких пестицидів в природних умовах.....	183
27.	А.В. Галата, Г.А. Менделенко Статистична обробка бази даних радіаційного фону м. Дніпродзержинська у модулі ArcGis-9	187
28.	Б.Е. Собко, А.М. Маевский Прогнозная оценка производительности вскрышных комплексов и ее влияние на себестоимость разработки горных пород	193
29.	В.А. Заиченко Влияние параметров шахтного уравновешивающего каната на напряженно-деформированное состояние резиновой матрицы на барабане прицепного устройства	198
30.	А.С. Kovров Современные тенденции развития открытого способа разработки месторождений полезных ископаемых в Украине.....	204
31.	О.М. Чала, Т.В. Хлевнюк, В.В. Бойко Дослідження впливу сил інерції по критерію стійкості бортів кар'єра для прогнозування сейсмобезпечних параметрів вибухів	213
32.	Ю.Д. Баранов, А.В. Зберовский Исследование физико-химических свойств черноземов при их длительном хранении в процессе горнотехнической рекультивации.....	219
33.	Р.О. Дичковський, В.В. Руських, Е.В. Тимошенко До питання визначення напружень при високошвидкісному вийманні тонких вугільних пластів	225
34.	Н.В. Зуєвська Математичне моделювання вибухового армування просадного ґрунту жорстким заповнювачем	234
35.	В.В. Марченко, Я.Я. Лебедев, Г.П. Кривцун Дослідження процесу виносу шкідливих домішок з підірваної гірської маси в атмосферу робочих площа-док кар'єру	240
36.	Ю.А. Жулай, В.В. Зберовский Решение концептуальных задач гидроимпульсного рыхления выбросоопасных угольных пластов в режиме периодически-срывной кавитации	246
37.	В.В. Задорнова Мікрокліматичні флюктуації температурних параметрів атмосфери в глибоких кар'єрах	254
38.	В.В. Ишков Мышиак в углях Лисичанского и Красноармейского геологопромышленных районов Донбасса	261
39.	О.П. Приставка, Н.М. Єрешченко Аналіз даних в системі гідрохімічного моніторингу з використанням сплайн-розподілу Вейбулла	272
40.	Відомості про авторів	284

**Збірник наукових праць
Національного гірничого університету
№ 35, том 2**

Підписано до друку 24.12.2010. Формат 60x84/16.
Ум. друк. арк. 14,4. Обл.-вид. арк. 14,4.
Тираж 100 прим. Зам. № 367

Підготовлено до видання та видрукувано
у Державному ВНЗ «НГУ»
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК №1842.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19