

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

**Збірник наукових праць  
Національного гірничого університету**

**№36  
ТОМ 1**

Дніпропетровськ  
2011

УДК 622 (06)

Засновник та видавець  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Рік заснування – 1999

**Збірник наукових праць НГУ.** – Д.: Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», 2011-№36, т.1.- 224 с.

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

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

Збірник друкується за рішенням вченої ради НГУ  
(протокол № 6 від 01.07.2011 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.  
Горобець Л.Ж. – 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.

*Маркшейдерія*

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

*Шахтне і підземне будівництво*

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

*Геотехнічна і гірнична механіка*

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

*Геологія та геофізика*

Нагорний Ю.М. – д.г.-м.н., проф.  
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.  
Баранов П.М. – д.геол.н., проф.

*Гірничі машини.**Динаміка і міцність машин*

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

*Буріння свердловин*

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

*Електротехнічні комплекси і системи*

Півняк Г. Г. – проф., д.т.н., проф.  
Шкрабець Ф.П. – д.т.н., проф.  
Заїка В.Т. – д.т.н., проф.  
Випанасенко С.І. – д.т.н., проф.  
Бешта О.С. – д.т.н., проф.  
Мещеряков Л.І. – 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.  
Слесарєв В.В. – д.т.н., проф.  
Алексєєв М.О. – д.т.н., проф.

*Охорона праці*

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

**Адреса редакції:**

49005, Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19,  
НГУ, 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 форматруется с выравниванием по ширине и междустрочным интервалом -1,0; отступ первой строки 1,2 см; абзацные отступы и интервалы – недопустимы; расстановка переносов автоматическая, номера страниц не проставляются.
- \* *Простые формулы* в тексте набираются курсивом с помощью символов редактора Word, *сложные формулы* должны быть выполнены в приложении Equation Editor, соблюдая размеры, приведенные на рис. ⇔
- \* Таблицы, графики и подписи к ним располагаются непосредственно в тексте и внедряются в документ как объекты, если они были созданы в Excel и др. приложениях.
- \* Рисунки должны быть в черно-белом изображении и вставлены в текст в местах ссылки на них.
- \* Список литературы приводится в порядке ссылок в тексте, в соответствии с ДСТУ ГОСТ 7.1:2006, размером 12 пт.

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

Образец набора

УДК 550.83

© И.В. Петрова

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАРПАТ ИЗ КОСМОСА

Приведены результаты геологической дешифровки материалов космических геофизических съемок Карпат. Наведено результати геологічного дешифрування матеріалів космічних геофізичних зйомок Карпат. Results of geological photointerpretation of materials of space geophysical surveys of Karpat are considered.

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

Список литературы

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

В редакцию «Сборника...» необходимо подать:

1. Электронный вариант и распечатанную **справку об авторах**:  
Фамилия, имя, отчество; место работы (полное название организации и её почтовый адрес); должность; ученая степень; номера контактных телефонов, E-mail.
2. **Экспертное заключение** о возможности опубликования материалов в открытой печати.
3. **Выписку** из протокола кафедры /лаборатории, отдела/ отражающую: общий характер статьи (работа фундаментального или прикладного значения, экспериментальная (результаты моделирования, данные промышленных испытаний...), теоретическая (описание нового метода расчёта...) и т.п.; соответствие материалов паспорту выбранной специальности (шифр); личный вклад автора; новизну полученных результатов; рекомендации к публикации.

**Телефоны для справок:**

т/ф (056) 726-77-04 Зберовский Александр Владиславович  
46-90-98 Задорнова Виктория Валериевна - ответственный секретарь.

## БУДОВА «ГРАНІТО-ГНЕЙСОВОГО» ШАРУ ЗЕМНОЇ КОРИ ПІВДЕННО-СХІДНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

В статті викладені деякі аспекти геологічної будови верхньої частини земної кори південно-східної частини УЩ на зрізі -10 км. Окреслені поля розвитку гранулітів, гранітоїдів інгулецького, кіровоградського, дніпропетровського, сурського, токівського, мокромосковського, демурінського комплексів, перидотитів, габро-перидотитів, габро-сієнітів, габро, діоритів; метакоматитів та толеїтів сурської світи, наведені дані про утворення плагіограніт-мігматитової та граніт-мігматитової формацій шевченківського, анадольського; габро-сієнітової, гранодіоритової, граносієнітової та сублужних гранітів формації хлібодарівського, габро-сієнітової октябрського та південнокальчицького комплексів; сублужних гранітів та пегматитів кам'яногогільського комплексів.

В статье изложены некоторые аспекты геологического строения верхней части земной коры юго-восточной части УЩ на срезе -10 км. Показано развитие полей гранулитов, гранитоидов ингулецкого, кировоградского, днепропетровского, сурского, токовского, мокромосковского, демуринского комплексов, перидотитов, габбро-перидотитов, габбро-сиенитов, габбро, диоритов; метакоматиитов и толеитов сурской свиты, приведены данные об образованиях плагиогранит-мигматитовой и гранит-мигматитовой формаций шевченковского, анадольского; габбро-сиенитовой, гранодиоритовой, граносиенитовой и субщелочных гранитов формации хлебодаровского, габбро-сиенитовой октябрского та южнокальчикского комплексов; субщелочных гранитов та пегматитов каменномогильского комплексов.

The article describes some aspects of the geological structure of the upper crust and Middle-Dnieper and Priazovsky megablockes of south-eastern part of the Ukrainian Shield at section -10 km. Areal development of various complexes of rocks and formations is presented. The conclusion about displacements at the depth of the major faults of Ukrainian Shield is made. The results obtained allow a new way to consider the prospects of searches of various types of minerals.

**Вступ.** Вивчення глибинної будови земної кори не можливе без широкого застосування геофізичних методів. До найбільш інформативних, що дозволяють прогнозувати будову та склад земної кори, потрібно віднести магніторозвідку і гравірозвідку. Їх ефективно використання базується на матеріалах глибинної сейсморозвідки методом спільної глибинної точки (СГТ), глибинного сейсмічного зондування (ГСЗ) та електророзвідки методом магнітотелуричного зондування (МТЗ).

Проведені тематичні геолого-геофізичні дослідження М 1:500 000 в 2000-2003 рр. Дніпропетровською геофізичною експедицією «Дніпрогеофізика» в межах південно-східної частини УЩ по комплексній інтерпретації геофізичних та геологічних матеріалів дозволили скласти глибинну фізико-геологічну модель земної кори та верхньої мантії. За результатами робіт були побудовані як опорні геолого-геофізичні розрізи (до глибини -60 км) по регіональних сейсмічних та електророзвідувальних профілях, так і отримані погоризонтні плани будови земної кори і верхньої мантії Середньопридніпровського та Приазовського мегаблоків на зрізах 0, -5, -10, -30, -50 км. Для цих же зрізів були розраховані та побудовані карти трансформованих гравімагнітних полів і ефективних значень уявного опору.

Отримані петрофізичні дані, дозволили зробити висновок, що земна кора відрізняється за своїм складом, будовою, потужністю шарів та ступенем прояву магматичних і метаморфічних процесів. Виявлені при цьому нові аспекти геологічної будови дозволяють удосконалювати емпіричні підходи до прогнозування різних типів корисних копалин.

Нижче розглянемо характеристика розрізу «граніто-гнейсового» шару земної кори. Потрібно відмітити, що шарувати породи залягають на глибинах від 0 до -20 км у Приазовському мегаблоці (ПМ) і від 0 до -30 км у Середньопридніпровському мегаблоці (СПМ). На рис. 1 показані прогнозний речовинний склад кори на зрізі -10 км за результатами комплексної інтерпретації геолого-геофізичних матеріалів. Породи, що складають верхню частину земної кори характеризуються різною щільністю, яка коливається від 2,6 до 3,35 г/см<sup>3</sup>.

**Середньопридніпровський мегаблок.** Слід зазначити що геологічна будова території на глибинах 5-12 км зберегла свою специфіку, тобто якоюсь мірою повторюється геологічна будова докембрійської поверхні [1-3]. Так, у Середньопридніпровському регіоні збереглися корені майже усіх основних ЗКС (Кобеляцької, Верхівцевської, Сурської, Софіївської, Чортомлицької, Дерезуватської, Білозерської, Конкської). У той же час виявився ряд структур, котрі не відомі на поверхні. Це в першу чергу велика структура, яка розташована дещо на захід від м. Дніпропетровська, а також структура, яка знаходиться південніше Девладівсько-Тернівської ділянки. Дуже незначною поза розмірами стала Конкська структура. На півдні Білозерської ЗКС з'явився, вірогідно, великий батоліт зональної будови діаметром до 50 км, центр якого знаходиться в 40 км на захід м. Мелітополя. У його складі в центральній частині структури (діаметр близько 25 км) розташовані породи із щільністю від 3,0 до 3,35 г/см<sup>3</sup>. Нами вони інтерпретуються як перидотити, габро-перидотити. В обрамленні знаходяться кільця менш щільних порід (3,0-2,8 г/см<sup>3</sup>), що визначаються як габро, діорити і гранодіорити. Обрамляється інтрузив плагіогранітоїдами зі щільністю 2,67-2,69 г/см<sup>3</sup>. Зауважимо, що цей плутон фіксується і на докембрійській поверхні. Однак, на плані будови поверхні докембрійського фундаменту південно – східної частини УЩ (рис. 1) він об'єднаний із загальною структурою Білозерської ЗКС, яка на зрізі -10 км узагалі не простежується. Можливо, що цей «плутон» є застиглою на глибині камерою великого палеовулкану, що діяв у мезоархеї і виливи якого послужили первинним матеріалом для неї. Варто сказати, що всі ЗКС, що збереглися на сучасній поверхні кристалічних порід, імовірно, у виді коренів мають жерловини вулканічних апаратів.

Форми головних ЗКС на глибині стали більш компактними. Вони придбали округлу або витягнуту форми. Розмір Верхівцевської структури при щільності порід 2,9-3,10 г/см<sup>3</sup> складає 25x30 км, Сурської - 20x25 км, Чортомлицької - 15x30 км. Інші структури значно менше (6-8x12-18 км). Складені ЗКС на глибині, безсумнівно, породами інтрузивної фації (габро і габро-перидотитами).

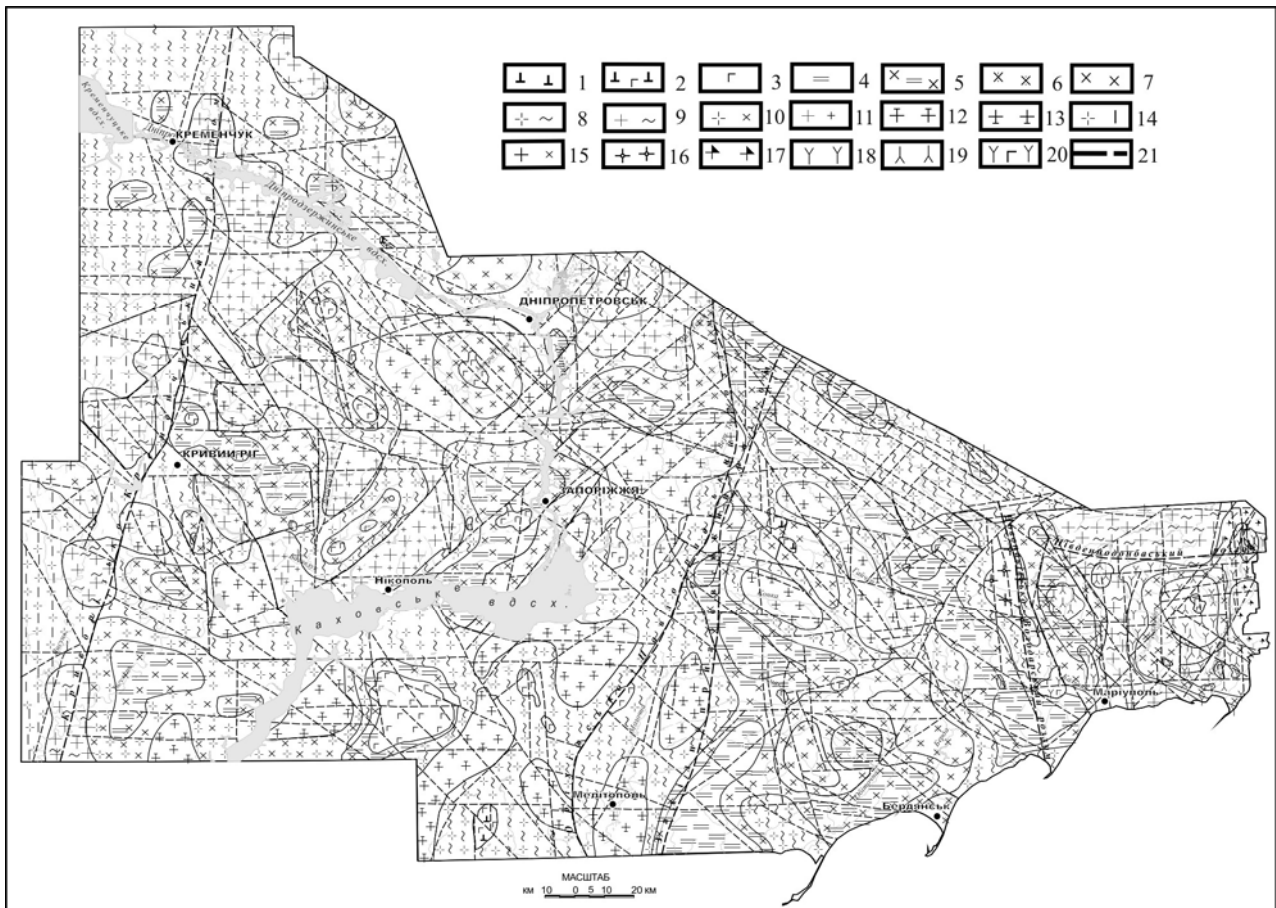


Рис. 1. Схема глибинної будови Середньопридніпровського та Приазовського мегаблоків УЩ на зрізі -10 км

1 – перидотити; 2 – габро-перидотити; 3 – габро; 4 – грануліти; 5 – діафторовані грануліти, діорити; 6 – діорити; 7 – діорити, ендербіти, мігматити діоритового складу діорити; 8 – плагіограніти та плагіомігматити біотитові, біотит-амфіболові; 9 – граніти та мігматити біотитові, амфібол-біотитові порфіробластичні, граніти та мігматити біотитові та двослюдяні; 10 – апліто-пегматоїдні граніти, плагіограніти, плагіо-мігматити, тоналіти, діорити; 11 – апліто-пегматоїдні граніти, граніти біотитові, амфібол-біотитові порфіробластичні, плагіомігматити біотитові та амфібол-біотитові; 12 – граніти біотитові порфіробластичні, мезо- та меланократові ортитвміщуючі; 13 – апліто-пегматоїдні граніти, пегматити, граніти біотитові, двослюдяні; 14 – плагіограніти та плагіомігматити, амфіболіти, діорити; 15 – апліто-пегматоїдні граніти, мігматити, тоналіти, діорити; 16 – граніти біотитові, альбітизовані, мусковітизовані, пегматити, альбітити; 17 – граніти сублужні; 18 – сієніти, кварцеві сієніти; 19 – лужні нефелінові сієніти, сублужні основні та ультраосновні породи; 20 – габро-сієніти; 21 – передбачувані розломи за МТЗ-даними та результатами моделювання гравітаційного поля

Виявилися в СПМ на розглянутих зрізах і структури раніше не відомих порід, котрі нами визначаються як габро (щільність  $2,9-3,0 \text{ г/см}^3$ ) або габро-перидотити (3,0-3,15). Найбільш велике тіло розміром до 30-40 км (можливо це міжпластова інтрузія) відзначається на південному-заході від м. Запоріжжя на південному березі р. Дніпро (Каховське водосховище). Воно нами названо в пам'ять про головного геолога ДГЕ (ДГП) „Дніпрогеофізика” «лаколіт ім. А.Г. Насада». Більш менші тіла габро розташовані в районі Томаківського гравітаційного максимуму. Раніше про породи подібного типу нічого не було відомо

можливо тому, що на більш високому стратиграфічному рівні поблизу докембрійської поверхні вони зруйновані інтрузіями двопольовошпатових гранітів мокромосковського комплексу.

Стосовно гранітоїдів варто сказати, що найбільш чітко в СПМ проявлені корені тіл плагіогранітоїдів дніпропетровського, сурського, демуринського комплексів (щільність 2,65-2,70 г/см<sup>3</sup>). Вони складають Сурський, Кудашівський, Хортицький і інші масиви і утворюють тіла неправильної амебоподібної, часто витягнутої форми, що заповнюють простір між ЗКС [3]. Розмір окремих тіл по ширині коливається від 10 до 30 км, а по довжині вони досягають 40-80 км, що, безсумнівно, свідчить про їхнє автохтонне формування. У роздувах щільність порід знижується до < 2,65 г/см<sup>3</sup>, що, імовірно, свідчить про присутність гранітоїдів типу тронд'ємітів.

Калієві граніти (токівський комплекс) широко поширені у межах СПМ. На глибинах від 5 до 12-15 км вони локалізовані в тих же районах, що і на поверхні кристалічного фундаменту. Простежується невеликий масив і на південь від Конкської структури, на захід від Верхівцевської та Сурської, а також на південь від Токівського масиву (рис. 1)

Весь інший простір СПМ, котрий незайнятий розглянутими вище породами, щільністю 2,65-2,95 г/см<sup>3</sup> проінтерпретовано як „сумарні” поля розвитку плагіомігматитів, плагіогнейсів, гранулітів, чарнокітів. Вони, власне кажучи, є тим фундаментом, на якому формувався поверх ЗКС. Вони являють собою продукт більш раннього (нуклеарного) етапу розвитку земної кори і виступають відносно ЗКС в якості рами.

**Приазовський мегаблок.** Як по поверхні кристалічного фундаменту, так і на глибині -10 км (рис. 1) структура ПМ різко відрізняється від такої, що розвинута в межах СПМ. По-перше, сам ПМ неоднорідний за геологічною будовою. Тут чітко проглядаються мегаструктури (із заходу на схід): Орхівсько-Павлоградська шовна зона (ОПШЗ) та Західноприазовський і Східноприазовський блоки II порядку [2]. По-друге, в регіоні більш яскраво виявлений тип порід, котрий представлений, в основному, двопіроксен-плагіоклазовими гранулітами (палеоархей, нуклеарний етап розвитку земної кори) (рис. 1)

ОПШЗ являє собою субмеридіональну структуру, що простягнулася більш ніж на 200 км із півдня на північ. У центрі вона має пережим. Її ширина з поверхні складає 20-22 км, а на зрізі -10 км не більше 5 – 7 км (рис. 1). У той же час на північному і південному замиканні ОПШЗ вона досягає відповідно 60 і 75, а на 10 км – 20 і 40 км. Північна і південна границі ОПШЗ тектонічні. На півночі вона зрізана південним бортом Дніпровсько-Донецької западини, на півдні – Бердянським скидом. Західний і східний борти структури теж тектонічні. Це чітко проглядається на поперечних геологічних розрізах (рис. 1). Орхівсько - Павлоградський розлом, що обмежує її із заходу, простежується у глибину мантиї на відстані до -80 км від поверхні кристалічного фундаменту [2].

Унаслідок такого структурного положення породи, що складають ОПШЗ у верхній частині розрізу на глибинах 1-5 км, діафторовані і з гранулітів перетворені в кристалосланці та амфіболіти. Тут поширені утворення західноприазовської серії, вовчанської, драгунської, терноватської, новогорівсь-



кої товщ, новопавлівських базит – ультрабазитового та тоналіт - ендербітового комплексів [3].

На зрізі -10 км у ОПШЗ вірогідно найбільш поширені три типи порід щільністю: 1)  $2,9-3,2 \text{ г/см}^3$  – залізисті кварцити та перидотити, габро-перидотити; 2)  $> 2,9 \text{ г/см}^3$  - габроїди, сублужні габроїди; 3)  $2,7-2,9 \text{ г/см}^3$  - плагіогнейси і грануліти.

На розглянутому зрізі «гранітної» верстви на фоні загального рівного фізичного поля плагіогнейсів і гранулітів виділяються дві великі овальної форми аномальні структури розміром до  $40 \times 65$  км, що розташовані одна на північному, інша на південному фланзі ОПШЗ (відповідно, Павлоградська й Азовська). Складені вони, як нам представляється, на глибині гранулітами з верствами залізистих кварцитів вовчанської товщі, темрюцької і дем'янівської світи центральноприазовської серії. Аналогічний характер гравітаційного поля відзначається й у межах Маріупольського поля залізистих кварцитів.

Залізисті кварцити Гуляйпольської структури на розглянутій схемі не проглядаються. Останнє свідчить про неглибоке її замикання.

Інший тип дрібних аномальних структур із щільністю порід  $> 2,9 \text{ г/см}^3$  розташований у середній частині Західноприазовського блоку і поблизу розвитку на докембрійській поверхні порід чернігівського карбонатитового і лужно-ультрабазитового комплексу. Це дозволяє зазначену аномальну структуру інтерпретувати як сублужні габро, дериватом яких, вірогідно, є лужні породи чернігівського комплексу.

Основний фон ОПШЗ складають плагіогнейси і грануліти західноприазовської серії (новопавлівська, верхньотокмацька і кайінкулацька товщі). Щільність їх складає  $2,7-2,9 \text{ г/см}^3$ .

Західноприазовський блок на зрізі -10 км представлений структурою розміром  $70 \times 150$  км. На заході він обмежений однойменним розломом, на сході – Новопавлівсько-Володарським (Малоянісольською тектонічною зоною), на півдні – Бердянським скидом, а на півночі – південним бортом Донецької складчастої структури. По характеру гравітаційного поля тут виділяються породи 6 типів щільності: 1)  $< 2,65 \text{ г/см}^3$  - граніти калієві і натрові лужньопольовошпатові; 2)  $2,65 - 2,70 \text{ г/см}^3$  – плагіограніти; 3)  $2,75 - 2,85 \text{ г/см}^3$  – діорити; 4)  $2,65 - 2,9 \text{ г/см}^3$  плагіогнейси і грануліти; 5)  $2,9 - 2,95 \text{ г/см}^3$  – габро сублужне; 6)  $2,9 - 3,20 \text{ г/см}^3$  – ультраосновні грануліти з пластами залізистих кварцитів та перидотити, габро-перидотити.

Найменш щільні породи ( $< 2,65 \text{ г/см}^3$ ) складають округлі тіла розміром від 15 до 30 км в діаметрі (рис.1). Відмічаються 2 таких тіла. Одне залягає серед плагіогранітів поблизу границі зі Складчатим Донбасом і визначається як натрієвий граніт, інше тіло самостійне і розташоване у верхів'ях ріки Мокрі Яли, інтерпретується як калієвошпатовий граніт.

Більш щільні породи ( $2,65 - 2,70 \text{ г/см}^3$ ) інтерпретуються як плагіограніти. По даних інтерпретації виділено три масиви. Західний розташований у басейну р. Конка. Він овальної форми і має розмір  $20 \times 35$  км та північно-західне простягання. Другий масив розташований в 30 км на схід від першого у верхів'ях

басейну р. Суха Конка. Його форма амебоподібна, розміром – 10-25x70 км. Третій - в 20-25 км далі на схід, грушеподібної форми розміром 20x35 км.

Між трьома масивами гранітів, у басейні р. Мокрі Яли розташовані близько круглі масиви габроїдів ( $2,9 - 2,95 \text{ г/см}^3$ ) та габро-перидотитів ( $3,0-3,15 \text{ г/см}^3$ ). Його розмір складає 8x12 км.

На південному-заході Бердянського блоку в 30 км на захід від м. Бердянська розміщується масив діоритів (щільність  $2,75 - 2,85 \text{ г/см}^3$ ). Він трохи деформований, представляє собою витягнутий у північно-західному напрямку подвійний овал розміром 23(60)x50 км. Цей масив, імовірно, є продовженням на глибину реально існуючого на сучасній поверхні докембрійського фундаменту обіточненського діоритового діапіру (вік 2,85 млрд років).

На захід від м. Маріуполя закартована велика (45x50 км) практично овальна структура. На поверхні кристалічного фундаменту в її центрі розташована група родовищ залізистих кварцитів (Маріупольське рудне поле), а на її північно-східному фланзі – Південнокальчицький граніт-сієніт-габровий масив. Розглянута структура (Маріупольська) за щільністю порід, за розмірами і формою масиву досить близька до масивів ОПШЗ. Однак наявність поблизу неї великих інтрузій габро-сієнітів з тілами фаялітів дозволяє вважати її природу комплексною. Вона обумовлена не тільки заляганням на глибині залізистих кварцитів центральнопριαзовської серії, але, імовірно, і тілами сієніт-олівінових порід, інтрузії яких простежуються до поверхні верхньої мантії.

Залягають розглянуті масиви, як і в інших районах ПМ, серед гранулітових порід західнопριαзовської серії, котрі представлені двопіроксен-плагіоклазовими плагіогнейсами та кристаллосланцями.

Східнопριαзовський блок відділений від Західного Новопавлівсько-Володарською (Малоянісольською) зоною розломів. На півночі він обмежений Південнодонбаським, на півдні - Бердянським скидами і скидом Крива Коса. На сході його границя з Ростовським виступом проходить по Єланчицькому порушенню. Розмір його з півночі на південь складає 75 км, а з заходу на схід на півночі - 85 км, на півдні – 45 км.

У межах блоку на розглянутих зрізі 10 км чітко визначаються чотири типи порід щільністю: 1)  $2,65 - 2,70 \text{ г/см}^3$  – плагіограніти; 2)  $2,65 - 2,80$  – сієніти; 3)  $2,9 - 3,0 \text{ г/см}^3$  – сублужне габро; 3)  $2,75 - 2,9 \text{ м/см}^3$  – грануліти, які складені двопіроксен-плагіоклазовими плагіогнейсами та кристаллосланцями.

Масив плагіогранітів ( $2,65 - 2,67 \text{ г/см}^3$ ) розташований на півночі Східнопριαзовського блоку поблизу Південнодонбаського розлому. Він є східним продовженням масиву плагіогранітів, який нами розглядався при характеристиці Західнопριαзовського блоку. Розміри його складають 20x60 км. Витягнутий він повздовж розлому в західному напрямку.

Другим типом порід, який широко розповсюджений в Східнопριαзовському блоку – є нефелінові та лужні сієніти.

Третім типом порід території на розглянутому зрізі є сублужні габроїди (щільність  $2,9-3,00 \text{ г/см}^3$ ). Тут розташовані три масиви. Два з них невеликих розмірів (6x15 км і 8x10 км), третій складається, вірогідно, з двох масивів, що разом злилися, розмірами відповідно 7x20 км і 10x23 км. Самий північний з них

локалізований під Покрово-Кириївським лужно-ультрабазитовим масивом, а другий - під центральною частиною Тельманівського інтрузиву, котрий складений утвореннями хлібодарівського комплексу.

Четвертий (здвоєний) масив розташований дещо на схід від Тельманівської структури, у районі, де на поверхні кристалічного фундаменту при ГГК-50 у 1980 році були зустрінуті лужні породи. Такий збіг, очевидно, не є випадковим. Комплекси поверхневих лужних порід, імовірно, на глибині мали проміжні камери, котрі були заповнені материнськими сублужними лавами.

**Висновки.** Зіставляючи отримані дані прогнозного складу кори за даними комплексної інтерпретації геолого-геофізичних матеріалів з аналогічною типізацією, зробленої авторами роботи [1,2], можливо відзначити, що перші свідчать про більшу диференціацію «граніто-гнейсового» шару земної кори. Отримана додаткова інформація про будову верхньої частини земної кори в межах південно-східної частини УЩ дозволяє по-новому розглянути перспективи пошуків різних типів корисних копалин. Аналіз геологічної будови земної кори на зрізі -10 км дозволяє зробити висновок, що відомі родовища і прояви різноманітних корисних копалин тісно корелюються з певними комплексами порід та глибинними розломами.

#### Список літератури

1. Геолого-геофизическая модель Криворожско-Кременчугской шовной зоны Украинского щита / [ Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М. и др.]; под ред. Н.Я. Азарова. – К.: Наук. думка, 2006. – 196с.
2. Геолого-геоэлектрическая модель Орехово-Павлоградской шовной зоны Украинского щита / [ Азаров Н.Я., Анциферов А.В., Шеремет Е.М. и др.]; под ред. Н.Я. Азарова. – К.: Наук. думка, 2005. – 190 с.
3. Кічурчак В.М. Деякі особливості металогенії Середньопридніпровського мегаблоку Українського щита та її зв'язок з будовою земної кори / Кічурчак В.М., Пігулевський П.Г.// Науковий вісник НГУ, 2005. – №6. – С.42-47.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 24.05.11*

УДК 553.311.552.163(477.31)+550+241/245

© А.И. Каталенец, В.М. Кичурчак

## **НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ТЕКТОНИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ И МЕТАЛЛОГЕНИИ ПРИАЗОВСКОГО МЕГАБЛОКА УКРАИНСКОГО ЩИТА**

Обобщен имеющийся фактический материал по тектоническому строению Приазовской рудной провинции. Показана связь тектоносфер, разрывных структур и рудной специализации в провинции. Выделены рудоносные, рудовмещающие, рудогенерирующие геологические формации. Намечены направления районирования и прогноза оруденения в Приазовской металлогенической провинции.

Узагальнений фактичний матеріал з тектонічної будови Приазовської рудної провінції. Показаний зв'язок тектоносфер, розривних структур і рудної спеціалізації у провінції. Виділені рудоносні, рудовміщуючі, рудогенеруючі геологічні формації. Намічені напрями районування та прогнозу зруденіння у Приазовській металогенічній провінції.

The available factual material on the tectonic structure of Azov ore province is summarized. The relation between tectonosphere, fault structures and ore specialization in the province is shown. The ore-bearing, ore-containing, ore-generating geological formations are identified. The directions of zonation and forecasting of mineralization in the Azov metallogenic province are selected.

Вопросы металлогенического анализа докембрийских щитов Земного шара, несмотря на длительное их изучение и установление общих закономерностей развития полезных ископаемых, остаются открытыми для конкретных регионов. Основная трудность в достижении завершенности исследований заключается в том, что на отдельных территориях щитов происходило неоднократное наложение разных по интенсивности типов и возрасту геологических процессов и структур. Закономерности проявления полезных ископаемых на щитах определяются как особенностями эволюционного развития древних структурно-формационных элементов, так и новых генетических типов рудоносных структур, синхронностью протекания ряда процессов на щитах и в усложняющих их геосинклинально-складчатых областях фанерозоя, строением тектоносферы. Отсюда следует, что подходы к металлогеническому анализу древних щитов должны быть основаны как на принципах анализа молодых складчатых структур, так и накопленного опыта изучения докембрийских структур и их особенностей (магматизм, ультраметаморфизм, метасоматоз).

Целью настоящей статьи является освещение основных черт металлогении Приазовской металлогенической области (ПМО) Украинского щита (УЩ) для оценки перспектив ее территории на основе выделения рудовмещающих, рудоносных, рудогенерирующих формаций, присущих отдельным этапам геологического развития и структурам.

В основу подходов к металлогеническому анализу (МА) и выделения рудных полей и месторождений нами положены доменный, стереометаллогенический, формационный методы. В первом случае выделялись конкретные площади с присущими группами месторождений (элементов, металлов), формациями, процессами; во втором – использованы данные о глубинном строении района для обоснования пространственного распределения конкретных структур и формаций; в третьем – комплексный формационный анализ породных толщ докембрийских структур с учетом метаморфизма, метасоматизма, магматизма с учетом нарушения имманентного состояния постскладчатых докембрийских систем.

Строение тектоносферы. Согласно данным сейсмических профилей (северо-восточного и северо-западного направлений) земная кора Приазовского мегаблока (ПМ) УЩ имеет блоковые строения и изменчивую мощность. Профиль проходящего через Западное Приазовье дает основание выделить в нем южный, центральный и северный блоки на основании наличия глубинных разломов, отражающихся в поверхности Мохо (М) [3].

Блоковый характер строения подтверждается также профилями проходящими через Восточное Приазовье и Днепровско-Донецкую впадину (ДДВ). Земная

кора здесь имеет мощность 36-38 км, ПМ и ДДВ разделены Южнодонбасской глубинной зоной разломов, в пределах которой фиксируется подъем и смещение поверхности М с амплитудой 5-7 км. Кроме того, по профилю Таганрог-Днепропетровск обнаружена высокая степень дифференциации поверхности М в пределах ПМ. В рельефе поверхности отражаются Грузско-Еланчикский, Кальмиусский, Октябрьский, Малоянисольский глубинные разломы. Октябрьская зона разломов нарушает поверхность М и проникает в верхнюю мантию. Под Октябрьским щелочным массивом на глубинах 37-40 км происходит прогиб поверхности М шириной 10 км и глубиной 3 км. Отметим также, что в Западном Приазовье на глубине 20 км выделяется поверхность К<sub>2</sub>, которая в Восточном Приазовье отсутствует. Мощность коры в первом – 50 км, во втором – 36-40 км. Исследование методом обменных волн землетрясений в Восточном Приазовье зафиксирована трансформационная акустическая аномалия, уходящая в мантию до глубины 100-120 км.

Различия в геологическом строении между Западным и Восточным Приазовьем подчеркивается слабым магнитным и гравитационным полями второго района. Это позволило Крутиховской З.А. с соавторами объяснить различие в мощности коры и расчленении поверхности М изостатическим уравниванием – погружение «тяжелых» блоков и подъем «легких». «Тяжелые» блоки архейского возраста в последующем под влиянием гранитоидного магматизма и денудации стремились к новому, более высокому положению изостатического равновесия.

Таким образом, по данным геофизических исследований ПМ включает два блока (Западное и Восточное Приазовье), как по мощности земной коры, так и по глубине залегания поверхности М. Отмеченное определило характер щелочного магматизма и его выраженность на площади ПМ, а также вблизи Орехово-Павлоградского разлома (ОПР). У последнего размещены Терсянский габбро-сиенитовый и Щербаковский гранитоидный массивы - Среднеприднепровский мегаблок (СМ).

Кроме того, наличие полиформационных породных ассоциаций и рудных месторождений ПМО позволяет связывать специализацию металлоносности исходя из глубинного строения тектоносферы.

Разрывные структуры. Территория ПМ ограничена субмеридиональным Грузско-Еланчикским (восток) и Орехово-Павлоградским (запад) глубинными разломами. Выделенная территория в свою очередь разделена Западноприазовским разломом на Орехово-Павлоградскую структурно-фациальную зону (ОПСФЗ) и собственно ПМ. Северная граница ПМ сопряжена с ДДВ по Самарской (Волчанской) и Южнодонбасской зонам разломов (Васильевский, Южнокумачевский разломы, Криворожско-Павловский сброс). Южная граница мегаблока проходит по Бердянско-Мариупольской зоне разломов (Азово-Черноморской впадине).

Анализ ориентировки простирания нарушений (370 замеров локальных, региональных, трансконтинентальных) позволяет выделить 5 групп систем (рис 1):

1. Азимуты простирания 295° - 307°, в которую входят частично дугообразный Корсакский (южная часть), Долинский, Елизаветовский, Сорокинский, Николаевский, Куйбышевский, Северный (Федоровско-Шевченковский), Златоустов-

ско-Кременевский, Днепрово-Дзержинский, Хортицкий разломы. При этом 2-5 разломы формируют зону смятия и расланцевания. Днепрово-Дзержинский и Хортицкий разломы, которые развиты в СМ, усложняют ОПСФЗ, а в юго-восточном направлении сопряжены с зоной смятия в ПМ. В эту систему следует включить структуры растяжения, залеченные мезо-неопротерозойскими ранее дайковыми образованиями, описанные в [4];

2. Азимуты  $335^{\circ}$  -  $345^{\circ}$ , которые объединяют Мариупольско-Малоянисольскую зону нарушений и входящей в нее Восточнопавловский разлом (Криворожско-Павловский сброс) и локальные нарушения параллельные им;

3. Азимуты  $345^{\circ}$  -  $355^{\circ}$ , к которой относятся Грузско-Еланчакский глубинный (унаследованный) разлом, Степановская, Розовская, Черниговская, Западноприазовская и параллельные ей зоны разломов к востоку от последнего, а также Орехово-Павлоградский разлом;

4. Азимуты  $24^{\circ}$  -  $39^{\circ}$  состоят из нарушений, оперяющие Западноприазовский разлом. Один из них проходит по линии г. Орехов – пгт Покровское (Дибровское комплексное месторождение) и отстоящее на 12 – 15 км от северо-западного центральнонального замыкания Гуляйпольской структуры, а также Ольгинская (Володарская), Кальмиусская, Салтычанская, Михайловско-Белоцерковская, Лозоватская, Бердянско-Мариупольская зоны разломов;

5. Азимуты  $75^{\circ}$  -  $85^{\circ}$  объединяют Хомутовско-Ростовскую, Приморскую, Конкско-Зачатьевскую, Южнодонбасскую (Васильевский разлом) в ПМ и Девладовский в СМ.

Приведенная группировка и анализ замеров ориентировки дайковых тел и трещиноватости пород на территории ПМ выполненных ранее Шаталовым Н.Н., Севастьяновым В.А., Ахметшиной А.К. [4] и наши позволяет отметить такие особенности:

- главным направлением ориентировки даек является северо-западное, совпадающее с системой разломов северо-западного направления (группа 1). Сюда входят - жильные тела диабазов, диабазовых порфиритов, лампрофиров, гранитпорфиров (кварцевых порфиров) района Каменномогильского, Екатериновского массивов, межкупольных пространств Екатериновского и Южнокальчикского (Володарского), Октябрьского и Кременевского массивов, Златоустовско-Кременевского разлома. Аналогичная ситуация наблюдается в дайковом узле, развитом к юго-западу от с. Павлополь (лампрофиры, диабазы), в восточном обрамлении Кальмиусского массива, а также жильные тела лампрофиров и нефелинитов в пределах Мариупольского железорудного поля;

- меньшее выражение получают дайки с азимутами  $40-45^{\circ}$ , которые субпараллельны разломам 4-5 групп (значительная часть трещин в породах докембрийского субстрата совпадает с ориентировкой дайковых полей);

- разрывные структуры 1 и 4 групп формируют ортогональную систему.

Тектонический стиль деформации катархейских образований ПМ характеризуется не только системами разрывных нарушений, но и купольно-кольцевыми, валообразными поднятиями (линейный тип), депрессионно-складчатыми зонами (зоны завершённой складчатости докембрия).

Купольно-кольцевые поднятия и другие геологические структуры различаются по строению, составу пород формаций, возрасту и генезису, что позволяет выделить такие их серии:

1) тектоно-метаморфическая: а) гранитно-гнейсовые купола (Салтычанский или Елисеевский, Куйбышевско-Федоровский, Гуляйпольско-Куйбышевский и др.); б) зоны завершенной складчатости (Центральноприазовская, Корсакская и др.);

2) тектоно-магматическая, которая включает такие группы структур:

- собственно купольно-кольцевые структуры,
- линейные структуры.

В первую группу входят такие подгруппы:

1. Купольно-кольцевая (ультраосновные щелочные массивы) в обрамлении гранитоидов анадольского типа на территории Восточного Приазовья;

2. Купольные или гранитные массивы (малые интрузии) каменноугольного типа в зоне перехода Восточного Приазовья в Западное Приазовье, Щербаковский массив СМ.

Вторая группа или линейный тип тектоно-магматических структур включает такие подгруппы:

- ультраосновные щелочные массивы в расколах – раздвиггах (Черниговская тектоническая зона Западного Приазовья) и вдоль Орехово-Павлоградского разлома (Старобогдановский массив и Терсянский щелочной массив СМ);

- дайки и малые интрузии позднего докембрия и фанерозоя;

- плутогенные и вулканогенные тела приразломных зон фанерозойской тектоно-магматической активизации (грабенообразные структуры на сочленении ПМ и ДДВ, конкретно, Покрово-Киреевский грабен в зоне пересечения субширотных и субмеридиональных разломов с комплексами щелочно-ультраосновных и габброидных пород (средний-верхний девон); толеит-базальтовый, щелочно-базальтовый (нижняя, средняя пермь); андезит-трахиандезитовый (пермь-нижний триас); щелочных габброидов аналогичных Покрово-Киреевской структуре, но развитых на территории купольно-кольцевых структур Восточного Приазовья.

Гранитно-гнейсовые купола (тектоно-метаморфогенные структуры раннего заложения), формирование которых связано с периодом регионального метаморфизма и ультраметаморфизма (палингенно-анатектического гранитообразования на ранних этапах погружения и гранитного интрузивного магматизма на поздних инверсионных этапах). Они приурочены к району утолщения земной коры (Западное Приазовье). В понятие купольно-кольцевых (гранитно-гнейсовых куполов) мы вкладываем смысл скучиванья древних толщ и поднятие мобилизованного материала над очагами максимального теплового эмманационного потока, формирующиеся в период кратонизации прогеосинклинальных областей. К ним относятся Салтычанская, Куйбышевско-Федоровская, Гуляйпольско-Федоровская структуры, ядро дугообразной (с выпуклостью на запад) Сачкинской моноклинально-складчатой структуры, в котором развиты плагиогранитоиды датированные Артеменко Г.В. с соавторами в 2165-2107 млн. лет. Последние образуют Стародубовское валообразное поднятие отделяющее Сачкинскую структуру от структур Мариупольского рудного поля (Мангушскую синклиналь). В породном составе

Сачкинской структуры принимают участие образования западноприазовской и центральноприазовской серий. Перегиб структуры наблюдается в районе с.с. Карла Маркса и Николаевки. При этом к северу от перегиба наблюдается северо-восточное простираие структуры и срезание ее Каменномогильским гранитоидным массивом, к югу структура приобретает юго-восточное простираие и параллельность Сорокинскому разлому (отстоит от него на 1,5-2 км). В северо-восточной половине структуры расположены Троицкое, Каратюкское, Темрюкское, Сачкинское месторождения и рудопроявления графита и Кировское, Темрюкское и Сачкинское рудопроявления железистых кварцитов, а также золоторудные рудопроявления.

Связь тектоно-магматических структур с разрывными нарушениями можно охарактеризовать следующим образом. Первая из подгрупп (купольно-кольцевые Октябрьская, Южнокальчикская, Кальмиусская, Тельмановская и др.), которая развита в Восточном Приазовье, находится в зоне малой мощности коры и приурочена к межразломному пространству Грузско-Еланчикского и Мариупольско-Малоянисольского разломов, которые выполняли экранирующую роль. Вторая подгруппа структур (купольная) развита в переходной зоне от тонкой коры к коре повышенной мощности (Западное Приазовье). Практически она находится в пространстве между Мариупольско-Малоянисольским и Розовским разломами. Линейная группа тяготеет к Западному Приазовью, где прослеживается максимальная мощность земной коры и развит дугообразный Черниговский разлом раздвигового типа. Сюда следует отнести Терсянский и Щербаковский массивы субпараллельных Орехово-Павлоградскому разлому в СМ, а также подгруппа дайковых тел позднего заложения, приуроченных к структурам растяжения северо-западного направления и кольцевым разломам (Тельмановский и других купольно-кольцевых массивов). Третья подгруппа приурочена к структурам проседания (грабенам) возникших в зонах сочленения ПМ с ДДВ, а также на площади купольно-кольцевых структур первой подгруппы тектоно-магматических структур. В последнем случае выражены штокообразные тела щелочных габброидов.

Тектонические нарушения северо-западного и субширотного простираий имеют самостоятельное значение. В первой системе выражены грабенообразные опускания (Сорокинская, Куйбышевская, Северная или Федоровская структуры), метасоматические преобразования (мусковитизация, альбитизация, эпидотизация, грейзенизация, турмалинизация, окварцевание), серпентинизация, тремолитизация, актинолитизация ультрабазитов, амфиболизация пироксен-магнетитовых кварцитов, развитие метасоматитов (биотит-хлоритовые, биотит-хлорит-карбонатные). В пространстве между Куйбышевско-Федоровским и Салтычанским куполами система рассматриваемых разломов сгущена, что обуславливает развитие зоны смятия, в сферу влияния которой попадает Белоцерковская, Сорокинская и Сачкинская складчатые зоны. К зоне смятия приурочены редкометалльно-редкоземельные пегматиты, претерпевшие наложенные поздние изменения (мусковитизация, альбитизация, грейзенизация). Пегматитовые тела имеют согласное и секущее взаимоотношение с сланцевой толщей и развиты в метабазилах, ортоультрабазитах, гнейсах, мигматитах.



Кроме того, в зонах смятия имеют место проявления золота, никеля, серебра, вольфрама, железа, жильных тел розового андалузита (кварца+андалузит+силлиманит), которые встречается в Гуляйпольской структуре, радиоактивных руд (Дибровское комплексное месторождение в Северной зоне нарушений, Гуляйпольское месторождение железных руд).

Развитие структур субширотного простирания мы относим к наиболее молодым образованиям. Эти нарушения участвуют в развитии горст-грабеновых структур (Покрово-Киреевская грабен, Еланчикский горст в области развития Южнодонбасского разлома), вулканогенно-осадочных депрессии (девон), ориентированных вдоль Южноволновахского разлома.

Конкско-Зачатьевская разломная зона в сочетании с Криворожско-Павловским сбросом (Восточнопавловский разлом) выделяет Конско-Ялыньскую впадину (грабен) заполненную отложениями мела, неогена. Глубина фундамента в южной ее части достигает 500 м, в северной 80 м. Приподнятая ее часть представляет собой Волчанский выступ докембрийских пород, сочленяющийся с ДДВ. Аналогичное явление наблюдается на юге Восточного Приазовья, где вдоль Восточнождановского разлома происходит перемещение до 800 м и образование грабена, заполненного отложениями триаса, мела, палеоцена, неогена [4].

Связь рудных месторождений с глубинным строением земной коры. Обобщенное исследование поведения ряда элементов в глубинных образованиях [5] по ряду районов мира указывает на то, что источником вещества для формирования рудных месторождений верхней части земной коры, является мантия. Так, изучение геохимии фтора в базальтах континентальных и океанических районов показало, что из всех порообразующих компонентов этих пород, фтор коррелируется только с  $K_2O$ . Содержание фтора увеличивается от толеита к субкалиевому базальту на континентах и от толеита к нефелиниту на Гавайских островах. Авторы допускают, что фтор фиксируется во флогопитах из верхней мантии, которые содержат 10%  $K_2O$ , 0,4% F и 4%  $H_2O$ . На основании отношения  $H_2O/F$  делается вывод о различных типах базальтовых магм возникающих при частичном плавлении магнезиальных перидотитов. Изменение химического состава перидотитов объясняется фракционированием их при продвижении к земной поверхности.

На связь ртути с глубинными зонами Земли обращали внимание Озерова Н.А., Кузнецов В.А. где показано ее поведение в кимберлитах ( $n \cdot 10^{-4}\%$ ), алмазоносных трубках, вулканических газах Гавайских островов, рифтовых зонах и углистых хондритах.

Обобщение о глубинном накоплении золота и литофильных элементов отмечалось в [5].

Слабометаморфизованные коматииты архейских зеленокаменных поясов Южной Африки содержат 372 мг/т золота при существенном различии его уровня в ряде других зеленокаменных структурах. Причина тому - в неоднородности субстрата верхней мантии в отношении распределения золота. В раннемезозойских щелочных базальтах и глубинных ксенолитах Тянь-Шаня, обогащенных сульфидами (пирит, халькопирит, арсенопирит, пирротин), содержание золота находится в пределах 23-413 мг/т. Аналогичное положение наблюдалось Говоровым И.Н. [5] в кимберлитовых провинциях Якутии, где в магнезиальных эклогитах проявлено

золото (в пироксенах, сростание с рутилом, в микротрещинах в гранатах), а серебра - в калийсодержащих магнезиальных и магнезиально-железистых эклогитах (парагенезисы: первичный магматический - серебро, золото в клинопироксенах; вторая - серебро, флогопит, амфиболы, шпинель, гранат, где золото по трещинам в пироксене и каймы вокруг граната; третий гидротермальный – серебро, серпентин, кальцит, миллерит, баритоцелестин, ангидрит). Таким образом, имеет место глубинный метасоматический процесс либо в мантии, либо в нижней коре при формировании и становлении диапира.

Повышенное содержание литофильных элементов в карбонатитах и других образованиях указывает на геохимическое родство и комагматичность с щелочными ультраосновными породами (магма которых считается меланефелинитовая) и присутствии их в мантии. Концентраторами редких элементов в глубинных ксенолитах кимберлитов выступают флогопит и ильменит. Причем ильменит (до 40%) получает широкое распространение только в некоторых типах лерцолитов и пироксенитов шпинель-пироповой формации. Флогопиты содержат фтор (до 1%), барий (1500г/т), рубидий (до 700 г/т), литий, олово (первые граммы на тонну). Ильменит концентрирует ниобий (до 1500 г/т), тантал (до 150 г/т), церий (до 1500 г/т), самарий (до 100 г/т). Таким образом, присутствие фтора в флогопитах и широкое их развитие в некоторых ксенолитах кимберлитов, указывает на развитие мантийного метасоматоза. Не противоречат этому данные Даусон Дж. которые показывают, что наряду с флогопитом в кимберлитах Южной Африки содержатся рихтерит, кальцит, рутил, сульфиды. Кроме того, здесь наблюдается обогащение цирконием, ниобием, барием, стронцием. К сказанному выше добавим, что концентрированное выделение редкоземельных-редкометалльных компонентов наблюдается в углистых хондритах (самостоятельное выделение ниобатов, молибдена, самородных элементов с платиноидами, вольфрамом, молибденом).

Рассмотренные особенности глубинного магматизма и метасоматоза в ряде случаев присущи и ПМ.

Дайки камптонитов Октябрьского массива в зоне одноименного разлома содержат хромдиопсид и включения ультрабазитов, которые по [1] характеризуют вещество верхней мантии, образовавшегося на больших глубинах.

Изучение поведения золота [2] в Приазовском районе, касающееся основных-ультраосновных пород, показало его наличие в основных кристаллосланцах 4-7 мг/т при наличии в них сульфидной минерализации, окварцевания и развития горнблендитов (по ультрабазитам) 20-30 мг/т. В серпентинитах содержание золота колеблется от 0 до 10 мг/т, в зонах их карбонатизации – 8 мг/т. Увеличение золота прослеживается в серпентинитах, обогащенных хлоритом (8-12 мг/т), кварцевых метасоматитах – 15 мг/т, фукситовых кварцитах – 20 мг/т. Повышение количества проб с золотом наблюдается при увеличении сульфидов (в том числе с никелем), уровня содержания мышьяка (0,0001-0,0003%), сурьмы. Отмеченное и наличие золотого оруденения в ультраосновных породах (Капитановская группа) в западной части УЩ указывает на неоднородность мантийного вещества на его территории.

Появление калия в метасоматических зонах отличается тесной корреляцией с рубидием (литием, цезием) независимо от состава исходных пород. В зональных ультраосновных телах высокомагнезиальные ядра содержат рубидия 0,0008-

0,0016%, в то время как внешние зоны, содержащие флогопит, более обогащены им (в 2-5 раз). Более высокое содержание рубидия (0,0020-0,0093%) наблюдается в основных вулканитах подвергнутых гранитизации (чарнокитизации). Аналогично поведение лития (0,0007%) в ядрах ультрабазитовых тел, а 0,0011 - в краевых. В метаморфизованных основных породах он составляет 0,00025%, в гранитизированных разностях, возрастает до 0,004%. Наиболее отчетливо проявлена связь щелочных металлов и редких щелочей в глиноземистых породах с гранатом, биотитом, силлиманитом, графитом на Куksунгурском и других железорудных месторождениях, подвергнутых ультраметаморфизму. Здесь характерна обратная корреляционная связь для калия и натрия (увеличение калия – снижение натрия), положительная – для калия и рубидия, лития (цезия) – рубидия. При этом выдерживается соотношение рубидий > цезия. Указанное соотношение может нарушаться при натровом метасоматозе (альбитизация), где содержание лития больше рубидия, а рубидия больше цезия. Эта деталь, очевидно, указывает на вытеснение калия натрием с выносом рубидия по мере замещения калиевых минералов натровыми. Отмеченное в целом указывает на изменение концентрации элементов при ультраметаморфизме калиевого профиля, особенно на заключительных его этапах. Здесь в зонах базификаций, скарнирования и низкотемпературного метасоматоза встречаются концентрации элементов, отвечающих промышленным требованиям. Другими словами, в процессе ультраметаморфизма возникает рудообразующая формация, которой отведена роль источника энергии при рудогенезе, реализуемого за счет вещества других формаций (магматических, осадочных) и привносимых элементов глубинного характера.

Повышенное содержание титана в пироксенитах и пикрит-базитах ОПСФЗ, вулканитах Волновахскоеланчикского комплекса, пикрит-базальтах и некоторых дайках Приазовья, а также высокое содержание фтора в диабазовых кварцевых порфиритах и других дайковых образованиях указывает на их глубинный характер.

Специализация перидотитов и метасоматитов Октябрьского и других массивов Восточного Приазовья (в порядке убывания) на Ce, Y, La, Yb, Eu, Sm, Lu, ортит-сфенсодержащих гранитов на Ce, La, Y, Yb, каменномогильских гранитов и их метасоматитов на Y, Yb, La, Ce, Sn, Be, U; широкое развитие ниобия, тантала, циркония, сфена с редкими землями, лития, олова, бериллия, присутствие урана, и довольно ощутимое наличие скандия в пегматитах указывает на глубинный характер поступления рудного вещества. Концентрация его возрастает на заключительных (метасоматических) этапах становления магматических структур. При этом наблюдается фракционирование и стадийность поступления ряда элементов, что объясняется сменой физико-химической обстановки, в том числе щелочности, окислительного потенциала среды, вплоть до поздних метасоматических процессов.

Тесная связь проявлений фторной минерализации с магматическим комплексом испытавший существенные метасоматические изменения (нефелинизация, канкринитизация, садолитизация, мариуполитизация, альбитизация, цеолитизация и др.) на территории утоненной коры (Восточное Приазовье и в зоне сопряжения его с ДДВ) говорит в пользу его глубинного (мантийного) поступления как в мезо-неопротерозое, так и фанерозое. Что касается каменномогильских гранитов, которые обогащены фтором, оловом, редкими землями и металлами, то их следует от-

нести к подкоровым. Основанием служит их существенное отличие от гранитов корового типа развитых среди вулканно-осадочных толщ ранних этапов развития региона, а также плагиогранитов (2,1-2,0 млрд лет) заключительной фазы складчатости проявленных в пределах Мариупольского рудного поля, в пространстве между ним и Старокрымским рудным полем, а также в Стародубовском вале, разделяющим Мариупольское и Сачкинское рудные железорудные поля. В возрастном отношении каменномогильские граниты моложе, чем отмеченные плагиограниты. Следует отметить снижение присутствия фтора в редкометалльно-редкоземельных пегматитах зоны смятия по сравнению с каменномогильскими гранитами. Исключением являются литийсодержащие пегматиты с топазом, находящихся в переходной зоне между полем развития каменномогильских гранитоидов и пегматитов расположенных западнее б. Крутая.

В зоне смятия, где развиты пегматиты (Сорокинская, Николаевская, Куйбышевская, Каменномогильская, Федоровско-Шевченковская или Северная разломные структуры) фтор присутствует в биотитах и турмалинах. Для этих зон процесс турмалинизации наиболее выражен. Турмалины обиточенского комплекса гранитов по данным Лазаренко Е.К. с соавторами заметно обогащены Cr, Ti, V, Ba, Sr, Mn, пегматитов Be, Sc, Pb, Sn, Ti, Nb, Yb, Y, Mn, Cr, Li, Cl, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Ar, CO<sub>2</sub>.

В отношении содержания фтора в турмалине следует сделать оговорку. Имеют место его разности без фтора в альбититах, кварц-турмалиновых жилах, биотит-турмалиновых сланцах на контакте гнейсов и ультрабазитов с пегматитами.

Обогащение минерализованных зон и пород Восточного Приазовья (купольно-кольцевая подгруппа тектоно-магматических структур), Покрово-Киреевской, Терсянской, Черниговской и других структур фтором, хлором, азотом, фосфором, указывает на фактор, благоприятствующий плавлению вещества и его подвижности, метасоматическому процессу, разрушению ранних минералов и переносу рудного вещества на более высокие уровни земной коры. Отмеченное способствовало образованию доменов неопротерозоя и фанерозоя:

- фтор-редкоземельно-редкометалльный, в том числе со скандием (до 100 г/т) Восточного Приазовья, включая каменномогильские граниты и Покрово-Киреевскую структуру;

- редкометалльно-редкоземельный (включая скандий до 4000 г/т, литий, рубидий, бериллий) в пегматитах зон смятия (между Салтычанским и Куйбышевским разломами северо-западного простирания, а также Шевченковская, Федоровская, Волчанская, Дибровская разломные зоны и др.);

- полиметаллический, связанный с метасоматическими преобразованиями инфильтрационного типа вдоль нарушений северо-западного простирания (серебро, золото, бор, уран, молибден, вольфрам и др.);

- фтор-редкометалльно-редкоземельный, связанный с Терсянским щелочным массивом и микроклин-альбитовыми гранитами Щербаковского массива;

- апатит-редкометалльно-редкоземельный или карбанатитовый в зоне Черниговского раздвиг-раскола;

- редкоземельный ортит-сфенсодержащий (салтычанский тип гранитов, Y, Yb, La, Ce в Салтычанском куполе).

Анализ размещения месторождений различных генетических групп в ПМ позволяет выделить ведущие по роли в рудогенезе такие геологические формации. Рудовмещающие, которые являются следствием эволюционного развития прогеосинклинальных структур, характеризующихся вулканогенно-гидрогенным накоплением магнезиального, глиноземистого, железорудного, карбонатного сырья на ранних этапах развития региона, которые перешли в рудообразующую формацию на поздних стадиях его развития (этап ультраметаморфизма калиевого профиля, высоко – и низкотемпературного метасоматоза). Сюда входит:

- осадочно-вулканогенная формация западноприазовской серии (гнейсы, кристаллосланцы основного состава, амфиболиты, перидотиты, серпентиниты, габброиды с присутствием титана, а также, подчиненно, метасоматических железистых кварцитов в основании серии (новопавловский, косивцевский комплексы ультрабазит - базитов)). Породы формации приобрели, высокотемпературный метаморфизм гранулитовой и амфиболитовой ступеней, мигматизацию, диафторез, прорваны гранитоидами (тоналитами) по данным Щербака Н.П. возрастом 3400 млн лет.

- вулканогенно-осадочная формация центральноприазовской серии (вулканиды основного и ультраосновного состава, гнейсы и кристаллосланцы среднего и основного состава, графитсодержащие, глиноземистые гнейсы и сланцы, кальцифры и мрамора, железистые кварциты). Вся толща гранитизирована (мигматизирована), диафторирована (мусковитизация, калишпатизация, скаполитизация, в том числе тремолитизация, амфиболитизация, серпентинизация основных и ультраосновных пород). Преобразование пород в процессе метаморфизма, гранитизации, метасоматоза (баритизация, турмалинизация, скарнообразование в том числе с редкими элементами) нами рассмотрены ранее [2].

Рудогенерирующие геологические формации, связанные с активизацией подкорового и мантийного вещества являющиеся источником энергии, рудного вещества, транспортирующих растворов при рудогенезе. В их группе выделяются формации:

- ультраосновная щелочная в межразломной зоне, связанной с купольно-кольцевыми структурами в обрамлении анадольских гранитов Восточного Приазовья;

- ультраосновная щелочная и другие формации в разломных структурах (фанерозой) возникших в зоне сопряжения докембрийского субстрата щита и ДДВ;

- ультраосновная щелочная разломов – раздвигов субмеридионального простирания (Черниговская зона) и приразломная (Орехово-Павлоградский разлом, Терсянский щелочной массив) в сочетании с микроклин-альбитовыми гранитами Щербаковского массива, связанные с подкоровым магматизмом;

- субщелочных гранитов каменномогильского типа;

- редкометалльно-редкоземельная пегматитовая зон смятия северо-западного простирания;

- дайковая и малых интрузий (лампрофиров, лампроиты, диабазы и других) и щелочных габброидов.

В названных формациях возможны сочетания формаций. Так, в первой группе, наблюдается сочетание рудовмещающих и рудообразующих формаций, а во

втором случае формация выступает в роли рудовмещающей, рудоносной, рудогенерирующей. Анализ структур, металлоносности и геологических формаций в пределах ПМ позволяет отметить такие особенности. Месторождения железистых кварцитов, глиноземистого, карбонатного и магнезиального сырья связаны с рудовмещающими вулканогенно-осадочными геологическими формациями неогерца – палеопротерозоя, отражающее эволюцию раннедокембрийских структур (основной вулканизм, осадконакопление, метаморфизм, коровый магматизм, мигматизация калиевого профиля). В результате отмеченных процессов и структурообразования ПМ превратился в область завершённой складчатости с наличием сводово-глыбовых структур (Салтычанский, Куйбышевско-Федоровский, Гуляйпольско-Куйбышевский гранито-гнейсовые купола и другие высших порядков) и зон складчатости (Центральноприазовская, Корсакская и др.). На смену гидrogenным, метаморфическим месторождениям приходят скарновые, метасоматические рудные формации (2.0 млрд. лет Гуляйпольская, Новоукраинская, Дибровская, Сачкинская, Сорокинская и др. структуры), связанные с коровым, менее с подкоровым веществом (калиевая гранитизация). В дальнейшем металлоносность связана с глубинными процессами (подкоровый, мантийный магматизм, метасоматоз). При этом эти процессы способствовали энергообеспечению и привносу рудного вещества. Формации образованные ими можно классифицировать как рудогенерирующие, рудоносные, рудовмещающие сформировавшиеся в период автономной активизации щита (неопротерозой) и отраженной активизации в связи с развитием ДДВ.

Формации раннего докембрия являются пассивными по отношению к позднему рудогенезу и не являлись источником рудного вещества, а выполняли рудовмещающую роль в зонах химической, физико-механической контрастности и тектонической проработки пород.

При прогнозе размещения оруденения и металлогеническом районировании территории ПМ следует использовать доменный, стереометаллогенический и формационный методы металлогенического анализа.

#### Список литературы

1. Еременко Г.К., Вальтер А.А. Глубинные включения протерозойских камптонитов Приазовья // Геологический журнал. - 1984. - 44. - №4. - С. 59-65.
2. Каталенец А.И. Железорудные зоны поля и месторождения восточной части Украинского щита. Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук. - Кривой Рог. - 1996. - 325 с.
3. Соллогуб В.Б., Чекунов А.В., Трипольский А.А. Тектоническое районирование Украинского щита в свете глубинных геофизических исследований // Геологический журнал. - 1972. - 32.- Вып. 4. - С. 3-11.
4. Шаталов Н.Н. Дайки Приазовья. К.: Наук. думка. - 1986. - 191 с.
5. Щеглов В.Д., Говоров И.Н. Нелинейная металлогения и глубины Земли. – М.: Недра. - 1986. - 321 с.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 01.06.11*

## **ОСНОВНІ ПРОБЛЕМИ ДЕРЖАВНОГО ІНВЕСТИЦІЙНОГО РОЗВИТКУ ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИХ ТА ГІРНИЧОДОБУВНИХ РОБІТ В УКРАЇНІ**

В данной статье рассмотрены основные проблемы инвестиционного развития геологоразведочных работ Украины. Даны рекомендации по контролю затрат на использование минеральных ресурсов и рентабельности работ недропользователя.

У даній статті розглянуті основні проблеми інвестиційного розвитку геологорозвідувальних робіт України. Дано рекомендації з контролю витрат на використання мінеральних ресурсів та рентабельності робіт надрокористувача.

In this article the main challenges of exploration investment in Ukraine are considered. Recommendations on cost control on the use of mineral resources and the profitability of subsoil are made.

Державна геологічна галузь України перебуває у важкому економічному стані і в даний час в повній мірі не забезпечує гірничодобувні підприємства державної власності розвідувальними запасами корисних копалин. Низьку ефективність проведення геологорозвідувальних робіт посилюють і кризові явища галузі, які призводять до скорочення кваліфікованих кадрів, зменшення виконаних обсягів пошукових робіт, недостатнього фінансування галузі та ін.

В даний час основним джерелом фінансування геологорозвідувальних робіт є відрахування надрокористувачів і гірничих підприємств на геологорозвідувальні роботи.

Недосконала система оподаткування і накладена на цю систему економічна криза зробили багато родовищ нерентабельними. У підсумку, гірничодобувні підприємства змушені відпрацьовувати в основному тільки найкращі, найбільш рентабельні ділянки родовищ, експлуатувати, головним чином, багаті по концентрації горизонти або ділянки.

Обмежене фінансування, пов'язане з залишковим принципом «ручного» розподілу цільових коштів викликало щорічне скорочення обсягів геологорозвідувальних робіт до 40% передбачених бюджетом (див. рис.1).

В зв'язку з наведеним відтворення мінерально-сировинної бази Україна поступово знижується, приріст промислових запасів не компенсує фактичні обсяги видобутку, що може призвести до падіння видобутку і, як наслідок, до нових економічних потрясінь. В останні роки знизилася число відкритих покладів родовищ.

Виріс тіньовий сектор у надрокористуванні, виникли численні посередницькі фірми, особливо характерні для вугільного, залізорудного та нафтогазового комплексів, що призводить до руйнування і банкрутства багатьох гірничодобувних підприємств.

Самі ліцензійні угоди застаріли, вони практично не відображають економічні реалії відносин підприємств, а податкове законодавство не враховує особливості ліцензійних вимог. Принциповими напрямками діяльності уряду по-

винні бути заходи, що забезпечують підйом економіки видобутку мінеральної сировини, та сприяти піднесенню всієї економіки України.

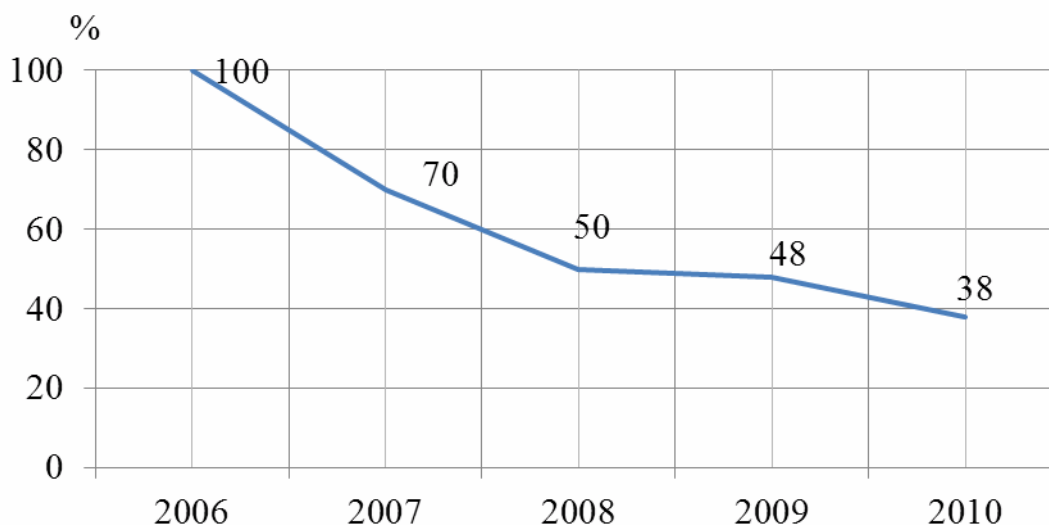


Рис.1. Фактичний рівень фінансування геологорозвідувальних робіт рік України в % від запланованих бюджетних коштів

Найважливішими пріоритетними заходами повинні стати:

1. Посилення ролі механізму ліцензування права користування надрами як основи реалізації правовідносин між власником надр (державою) і надрокористувачем, якому ділянка надр передається в коротко- і довгострокову оренду.

Необхідно конкретно визначити права власності (користування, володіння і розподілу) на надра, ділянки надр, ресурси і запаси корисних копалин та екологічну інформацію про надра, видобуток корисних копалин;

Передбачити розширення блоку економічних показників в ліцензійних угодах. На нашу думку слід ввести чотири види ліцензій:

- регіональні ліцензії - договору оренди на проведення регіональних геологорозвідувальних робіт;
- пошукові ліцензії - договору оренди на проведення пошукових і пошуково-одиначних робіт;
- розвідувальні ліцензії - договору оренди на проведення розвідувальних та дорозвідувальних робіт;
- експлуатаційні ліцензії - договору оренди на видобуток корисних копалин.

2. Удосконалення системи оподаткування надрокористувачів. Тут необхідно виділити такі напрями:

- введення єдиного рентного податку на наднормативний прибуток гірничого підприємства;
- вдосконалення практику обчислення та розподілу за рівнями бюджету і витрачання цільових коштів на розвиток геологорозвідувальних робіт;
- зниження податків на реальний гірничодобувний сектор економіки України.
- послідовна зміна джерел оподаткування при користуванні надрами, виведення їх із собівартості.



3. Забезпечення сприятливих, стабільних, гарантованих державою умов для широкого залучення в надрокористування вітчизняних і іноземних інвестицій.

4. Створення надійної системи контролю та регулювання надрокористування як основи раціонального і ефективного надрокористування, недопущення хижацької експлуатації родовищ корисних копалин.

Контроль і регулювання повинні бути спрямовані на вирішення наступних завдань:

- посилення ролі та дотримання державних інтересів у користуванні надрами;

- підвищення економічної ефективності в експлуатації родовищ;

- обов'язкове виконання всіх умов ліцензійних відносин;

- контроль по всьому ланцюжку переділів мінеральної сировини «видобуток - збагачення - переробка - транспортування - реалізація», а також розчищення цього ланцюжка гірничо-промислового комплексу від мережі численних посередників і перекупників, які використовують більшу частину гірничої ренти;

- контроль рівня витрат і рентабельності надрокористувачів;

Контроль та регулювання ціноутворення за вищенаведеним ланцюжком;

- контроль за переоформленням ліцензій та доцільністю намічених тенденцій, коли ліцензії переходять від гірничодобувних підприємств у материнські холдинги, вертикально-інтегровані компанії;

- санкції щодо порушників надрокористування, які повинні носити законодавчий характер.

Для відновлення порушеної системи матеріально-сировинної бази необхідно створення загальнонаціональної основи для підтримки рівнів видобутку на ділянках розподіленого фонду надр і для підготовки нових ділянок для перерозподілу фонду надр та їх ліцензування з метою оптимального розширення сектора надрокористування.

Тут необхідно виділити основний напрямок зміни головного завдання при відтворенні матеріально-сировинної бази, результатом чого повинна стати підготовка комерційно вигідних об'єктів і ділянок надр для ліцензування.

Такі безликі показники як приріст запасів, число відкритих родовищ без врахування наскільки ці запаси є активними і яка крупність родовищ, його технологічність і рентабельність не повинні бути самоціллю відтворення мінерально-сировинних ресурсів. Ефективність відтворення їх доцільно оцінювати за податковим потенціалом переліценованих ділянок надр, підготовлених за рахунок коштів відтворення мінеральних ресурсів.

Відтворення мінеральних ресурсів має бути віднесено до загальнонаціональних інтересів. Якщо прийняти цей постулат, то податок на мінеральні ресурси повинні платити всі підприємства, причетні до всього ланцюжку переділів мінеральної сировини.

Оподаткування - найважливіша ланка економічних відносин в економіці країни. Через оподаткування регулюються основні аспекти взаємодії держави з юридичними і фізичними особами. Відповідно оподаткування у надрокористу-

ванні відображає найважливіші ланки економічних відносин між державою - власником надр і користувачем надр (юридичною або фізичною особою).

Принциповими особливостями платного надрокористування є:

- велика кількість податків при користуванні надрами;
- державний статус податків при користуванні ресурсами надр;
- додаткове податкове навантаження на надрокористувачів, незалежно від того, чи є надрокористування на конкретній ділянці прибутковим або збитковим;
- фіскальний характер податків, коли податки стягуються з підприємств навіть у тому випадку якщо воно збиткове від виробничо-господарської діяльності;
- дорожчувальний характер податків при користуванні надрами, відрахування на відтворення ресурсів відносяться на собівартість товарної продукції;
- податки при користуванні надрами є прямими податками, тобто їх сплачує надрокористувач із суми реалізованої продукції;

Базою оподаткування є вартість товарної продукції підприємства, що має більше негативних, ніж позитивних наслідків, серед яких слід відмітити:

1. Чим гірше гірничо-геологічні, природні та соціально-економічні умови виробництва геологорозвідувальних і видобувних робіт, тим більша сума належних до сплати податків;

2. Чим більше віддалений товарний продукт від місця видобування корисних копалин, тим більше нараховується сума податків, а усі податкові ставки встановлені у відсотках, що свідчить про фіскальний характер платного оподаткування надрокористувачів та незначна диференціація податків по об'єктах надрокористування. Платежі за користування надрами задаються у вигляді мінімальних і максимальних ставок і, по суті, є обов'язковими. Це порушує основний принцип платного надрокористування, по якому податки за розробку родовищ повинні залежати тільки від рентабельності конкретного родовища, найчастіше необхідно доплачувати за надрокористування, а не стягувати податки.

Платниками податків визнаються користувачі надр, які здійснюють пошук, розвідку та видобуток корисних копалин, незалежно від наявності у них ліцензії на право користування надрами. Також визначення основного елемента системи надрокористування вносить протиріччя у такі поняття як: надрокористувач, власник ліцензії і платник податків платежів при користуванні надрами, а саме:

- тільки ліцензія засвідчує права її власника на користування ділянкою надр в заданих межах і з заданим цільовим призначенням, права та обов'язки користувачів надр виникають з моменту державної реєстрації ліцензії на користування надрами. Отже, при безліцензійному користуванні надрами мова може йти про штрафи, які включають і перевищують платежі при користуванні надрами, а також про цивільно-правову відповідальність;

- наявність ліцензії неоднозначно свідчить, що власник ліцензії є надрокористувачем. Можна отримати ліцензію і при цьому не розробляти ліцензійні ділянки надр. Система платного надрокористування не поширюється на ліцензіатів, які не скористалися наданим їм правом на надрокористування.

- не дотримується принцип справедливості, що передбачає рівномірність розподілу податкового навантаження. Діюча система платного надрокористування створює привільні умови одним, і, навпаки, лягає важким тягарем на більшість надрокористувачів, сприяючи і наближаючи їх до банкрутства, особливо в умовах економічної кризи;

- практично не задіяний рентний принцип оподаткування надрокористування.

Неврахування рентного характеру надрокористування - основний недолік платного надрокористування. Податки стягуються у тих, у кого гірничої ренти немає, і не може бути в силу природних, гірничо-геологічних та соціально-економічних умов. А у тих, у кого є гірнича рента, вона вилучається лише частково у вигляді акцизів і роялті. У цьому випадку плутанина в тлумаченні понять - платник податків - надрокористувач нерідко призводить до того, що податки стягуються не в тих, у кого утворюється гірнича рента. Гірнича рента у вигляді наднормативного прибутку утворюється при реалізації товарної продукції мінерально-сировинного комплексу, а іноді і за його межами. Надрокористувачами-платниками податків є в більшості своїй геологорозвідувальні та гірничодобувні підприємства, при реалізації продукції яких, як правило, не виникає гірничої ренти. Вона з'являється на наступних переділах мінеральної сировини після його деякої переробки і транспортування та реалізації споживачам товарних продуктів мінерально-сировинного комплексу. Тобто велика частина гірничої ренти виникає у посередників, перепродавців і т.п., які не є платниками податків у системі платного надрокористування. Основна частина гірничої ренти як би «розчиняється» і розподіляється між посередниками.

Також недостатньо використовується стимулюючий принцип оподаткування. Це відноситься і до переліку санкцій та до переліку пільг. Санкцій багато, а пільг мало, що:

- недостатньо використано в задіяному механізмі податкового регулювання надрокористування. Це перш за все, відноситься до платежів за користування надрами, які носять виключно фіскальний характер. Вступаючи до бюджетів різних рівнів, платежі за користування надрами витрачаються на що завгодно, тільки не на підтримку надрокористувачів, що здійснюють соціальне замовлення держави, а саме видобуток дефіцитної необхідної народному господарству мінеральної сировини на родовищах з об'єктивно обумовленою низькою економічною ефективністю їх розробки. Природно, що при наявності такого соціального замовлення держава повинна направляти частину отриманих платежів на підтримку надрокористувачів, але поки що це не робиться;

У діючій системі платного надрокористування не реалізована функція стимулювання зростання ефективності виробництва та залучення в надрокористування вітчизняних і зарубіжних інвестицій.

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що діюча система податків, зборів і платежів при користуванні надрами не забезпечує реалізацію основних економічних принципів ефективного оподаткування, не сприяє розвитку надрокористування, як мінерально-сировинного сектора економіки країни.

Податок (відрахування) на відтворення мінеральних ресурсів повинен бути визначений з утворенням гірничої ренти, з реальною рентабельністю кожної галузі надрокористування, так щоб застосовані ставки на мінеральну сировину були б однаково обтяжливими для надрокористувачів незалежно від того яку мінеральну сировину вони видобувають.

Зазначені заходи повинні вирішуватися одночасно, тому що вони нерозривно пов'язані один з одним. Центральне місце серед цих заходів, на нашу думку, є проблема посилення економічних аспектів ліцензування надрокористування. При цьому будь-які зміни, що вносяться в економіку ліцензування, повинні підкріплюватися відповідними змінами в законодавстві про надра, в податковому та інвестиційному законодавстві.

Безумовно, ці та інші заходи приведуть до вдосконалення системи оподаткування видобувних підприємств, удосконалення економічних аспектів ліцензування надрокористування та інвестиційних процесів у системі управління геологорозвідувальних робіт України.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 01.06.11*

УДК 553.068.38:553.461

© Е.С. Перков, С.Е. Поповченко

## **ВЛИЯНИЕ ПАЛЕОРЕЛЬЕФА НА ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ОРЕОЛОВ РАССЕЙВАНИЯ ХРОМИТОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В СРЕДНЕМ ПОБУЖЬЕ**

Приведены результаты исследования влияния форм палеорельефа хромитоносных ультрабазитов Побужья на формирование и распространение экзогенных хромитовых руд. Предложена схема формирования хромитовой минерализации в корах выветривания ультрабазитов.

Наведено результати досліджень впливу форм палеорельєфа хромітоносних ультрабазитів Побужжя на формування та розповсюдження екзогенних хромітових руд. Запропонована схема формування хромітової мінералізації в корах вивітрювання ультрабазитів.

The results of study influence paleo-landforms chrome-bearing ultrabasics in Pobuzhja on formation and distribution exogenous chromium ores are presents. The formation scheme of chromium mineralization in a ultrabasic residual soils is proposed.

**Актуальность** работы обусловлена решением фундаментальных вопросов, связанных с формированием и распространением экзогенной хромитовой минерализации в ультрабазитовых корах выветривания Среднего Побужья.

**Анализ проблемы.** Острый дефицит хромитовых концентратов на украинском рынке за последние 10 лет вызвал потенциальный интерес к освоению собственных ресурсов. На территории Украины единственные перспективные объекты сосредоточены в центральной части Побужского рудного поля и пред-

ставлены эндогенными, в меньшей мере, экзогенными рудами. Перспектива добычи последних оценивается крайне высоко ввиду комплексности месторождений (Cr, Ni-Co, Ti, вермикулит, строительные материалы), благоприятных горно-геологических условий и развитой инфраструктурой района. К отрицательной стороне относится слабая геологическая изученность рудопроявлений, обусловленная низким качеством руд и отсутствием крупных промышленно значимых объектов. Однако, как показала практика последних лет, при отработке руд силикатного никеля часто совместно встречаемые мелкие залежи хромитовых руд являются пригодными не только в качестве огнеупорного сырья, но и как руды для получения феррохрома [1].

**Изложение основного материала.** На сегодняшний день, в пределах изучаемого района разрабатываются два месторождения гипергенных никелевых руд группы Липовеньковских массивов (участки Западный и Школьный). На участке Восточный проведена детальная буровая разведка (рис. 1). Все три участка являются дайкообразными телами ультрабазитов Капитановского комплекса, имеющих северо-западное простирание, залегающие среди различных амфиболитов, пироксенитов, гранитов и гнейсов бугской серии верхнего архея, которые непосредственно контактируют с массивами. Все породы докембрия перекрываются неоген-четвертичными отложениями, среди которых преобладают глинистые пески и серые запесоченные глины мощностью до 5 м, серые и буровато-серые плотные пластичные глины средней мощностью около 8 м.

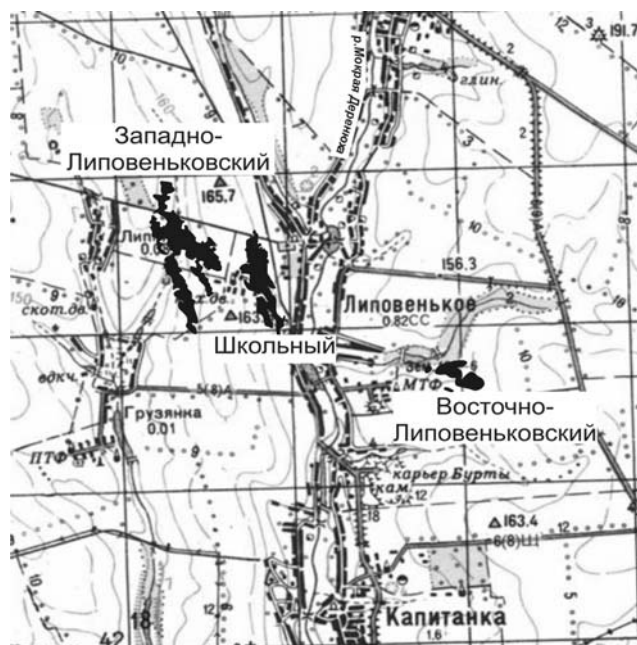


Рис. 1. Схема размещения изучаемых массивов

На массивах развита площадная кора выветривания неустойчивой мощности, осложненная линейным типом, которая развивается по контактовым и разломным зонам. В результате неоднократного размыва поверхности, глинистые пески балтской свиты заполняют мелкие депрессии, а кора на всех массивах характеризуется неполным профилем и представлена тремя зонами: выщелачива-

ния и дезинтеграции серпентинитов, нонтронитов и охр. Отмечено закономерное увеличение охр по латерали и вертикали с понижением гипсометрического уровня в том же направлении.

Геоморфологически массивы расположены субпаралельно друг другу на противоположных склонах долины р. Мокрая Деренюха (рис. 1). Современная поверхность этих массивов представляет собой пологий склон со средним углом наклона поверхности 5 - 7° с общим направлением ската к реке. Рельеф вдоль северо-западной окраины Восточного массива осложнен субпаралельным развитием глубокого эрозионного оврага, переходящего в ручей. Поверхность над массивом Западный представляет собой очень пологий склон (до 5°) водораздела, а присутствующий слабый уклон дневной поверхности направлен в перпендикулярную сторону от реки на северо-запад.

Интерпретация результатов буровой разведки на Восточном участке показала гребнеобразное возвышение коры в центральной части, которое представлено зонами окремнения северо-западного простирания по азимуту 350° с абсолютными отметками от 112 до 140 м. (рис. 2а). Общий наклон поверхности коры смещается от реки к перпендикулярному ручью (рис. 1, 2а) так, что главная ось направления поверхности склона участка представляет собой медиану между двумя водотоками. Минерализация непрерывно прослеживается по всему направлению размыва нонтронитовой коры, а промышленные концентрации руд приурочены к юго-восточной части массива.

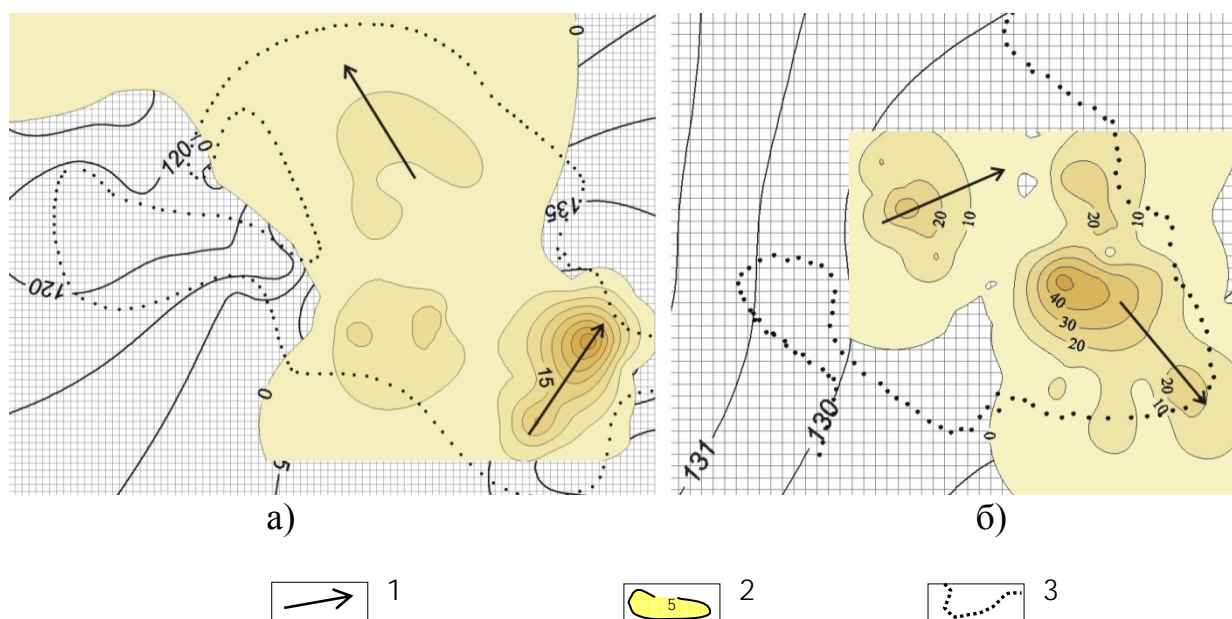


Рис. 2. Гипсометрический план и средневзвешенные содержания  $Cr_2O_3$  по кровле коры выветривания: а) Восточно-Липовеньковский массив; б) Западно-Липовеньковский массив; 1 – направление сноса обломочного материала; 2 – изолинии содержания  $Cr_2O_3$ ; 3 – контур ультрабазитового массива

На Восточном и Западном участках анализ геохимических данных керновых проб по хромитоносной коре выветривания показал, что формы и направ-

ленность кривых содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  вызваны существованием нескольких направлений сноса обломочного материала (рис. 2, 3).

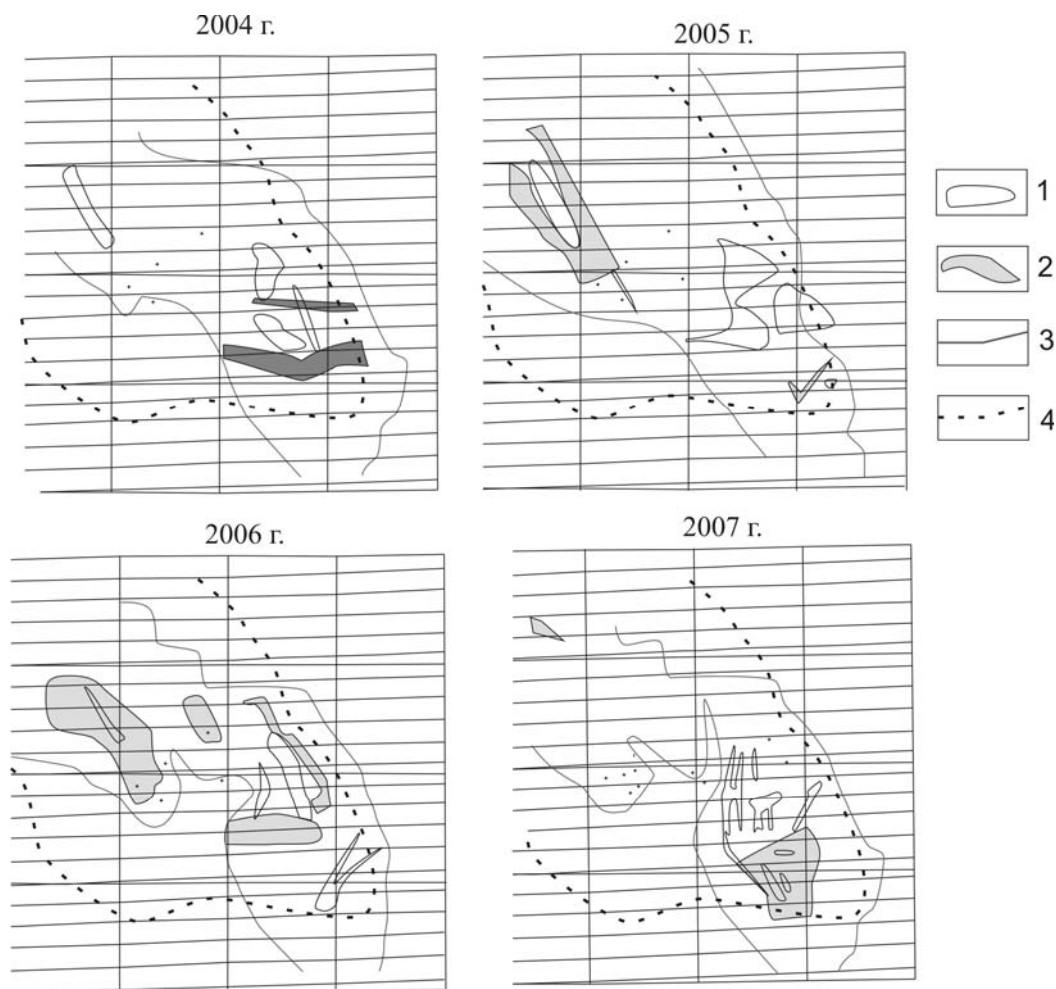


Рис. 3. Фрагменты планов горных работ на Западно-Липовеньковском месторождении гипергенных никелевых руд, характеризующие направление рудных тел ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в руде 6-52%): 1 – вскрытые хромитовые руды; 2 – хромитовые руды на глубине; 3 – контур распространения хромитовых руд в коре выветривания; 4 – контур серпентинитового массива

Для Западного массива основным направлением сноса обломочного материала является субперпендикулярное к долине реки с юго-запада на северо-запад и в меньшей мере с северо-запада на юго-восток (рис. 2б, 3). Для Восточного массива главным направлением сноса материала также является субперпендикулярное к реке с юго-востока на северо-запад и подчиненным с юго-запада на северо-восток (рис. 2а). Разнонаправленность потоков сноса обломочного материала обусловлено постинтрузивными тектоническими движениями отдельных блоков структур, увязанные в общей структуре Голованевской шовной зоны. Так, на участке Западный по зонам окремнения, а на Школьном по зеркалам скольжения, диагностируются локальные разноориентированные тектонические смещения блоков с амплитудой смещения до 10 м.

Установлено, что для всех массивов характерно плащеобразное, часто переходящее в конусовидные формы залегание ореолов. Причем, для конусовидных ореолов вследствие многократных размывов накопление полезного компонента наблюдается как в периферических частях, так и по всей площади сноса [2]. Кроме того, отмечается осложнение плащеобразных залежей прямолинейными зонами размыва, которые в разрезе представлены корытообразными формами, заполненные природно обогащенным хромитом и распространяющиеся за пределы массива. В таком случае, по мере удаления от коренного источника сортировка руд возрастает до образования мономинеральных концентратов (до 90%).

В корях выветривания хромитовые руды рыхлые и залегают, как правило, в глинисто-охристой толще на границе кора-четвертичные отложения. Руды различаются по содержанию  $Cr_2O_3$ , минеральному и гранулометрическому составу, степени окисленности, глинистости и кусковатости [3]. В таблице 1 приведена краткая типизация руд из коры выветривания.

Таблица 1

Типизация хромитовых руд из коры выветривания

По минералогическим разновидностям	1. Карбонат-кварц-нонтронитовые (серпентинитовые) 2. Кварц-карбонат-гидрослюдистые 3. Кварц-гётит-гидрослюдистые 4. Гидрослюдисто-кварц-гётитовые 5. Гидрослюдисто-глинистые 6. Кварцево-глинистые тонких и мелких фракций
По структуре, фракционному составу мм, (распространение, %)	1. Мелкозернистые 0,1-0,315 (50%) 2. Тонкозернистые 0,1-0,04 (40%) 3. Среднезернистые 0,5-0,25 (10%) 4. Пылеватые <0,04 (10%)
По текстуре (распространение, %)	1. Редковкрапленные (убоговкрапленные <70) 2. Густовкрапленные (20%) 3. Сплошные (массивные >10%) 4. Шлировые (10)
По содержанию $Cr_2O_3$ % в концентрате (промышленный тип)	1. 20-42 вкрапленные (огнеупорные) 2. 43-52 сплошные (металлургические)
Примечание: Среднее содержание руды в породе по 3-м массивам 18-24%	

По данным рентгено-структурного анализа, основными хромсодержащими минералами в рудах являются хромпикотит  $((Mg, Fe)(Cr, Al)_2O_4)$  и алюмохромит  $(Fe (Cr, Al)_2O_4)$ . Иногда в небольших количествах присутствует хромгерцинит и хроммагнетит [4]. На рисунке 4 приведены усредненные результаты химических анализов концентратов из коренных руд различных по текстурно-структурному облику.

Из графика видно, что содержания элементов в хромитах колеблются в узких пределах и не зависят от текстурно-структурных особенностей руд. Таким образом, текстурно-структурные показатели коренных руд не влияют на содержания окиси хрома в концентратах из экзогенных хромитов, а лишь влияют на концентрацию и количество самой руды.



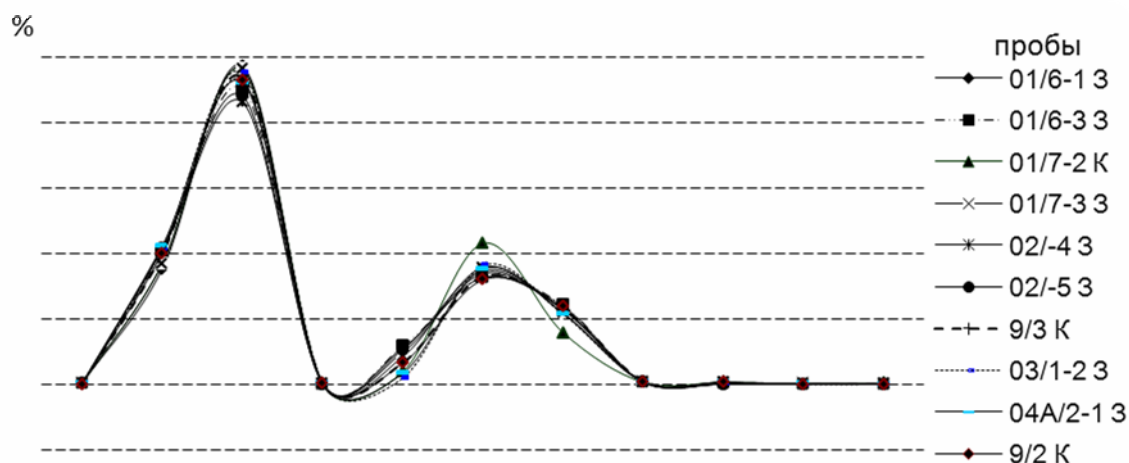


Рис. 4. Результаты химических анализов различных текстур хромитовых руд Западно-Липовеньковского и Капитановского месторождений: Массивы З - Западные Липовеньки, К - Капитановский

В целом, содержания  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  в рудах залегающих в корях выветривания характеризуются несколько пониженными содержаниями за счет частичного разубоживания, и в меньшей степени, за счет окисления и замещения гидроокислами железа. Наглядно это показывают данные таблицы 2, где содержание  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  во вкрапленных рудах несколько меньше по сравнению с массивными.

Таблица 2

Усредненный химический состав руд из кор выветривания по разновидностям

Окислы	Среднее содержание в массивных рудах (по 7 анализам), %	Среднее содержание в густовкрапленных рудах (по 75 анализам), %
$\text{SiO}_2$	6,44	13,64
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	43,52	27,12
$\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{FeO}$	22,32	29,56
$\text{CaO}$	1,10	1,55
$\text{MgO}$	13,68	14,54
$\text{Al}_2\text{O}_3$	12,69	12,63
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,041	0,041
$\text{H}_2\text{O}$	0,21	0,92

Хромитовая минерализация в корях выветривания представляется типичными механическими ореолами рассеивания хромшпинелидов как в глинисто-охристой коре, так и за её пределами с очень сложными морфоструктурными очертаниями, которые свидетельствуют о сложных и циклических процессах кооробразования. На рис. 5 для Среднего Побужья предложена схема формирования хромитовых руд в корях выветривания.

Главная роль при формировании экзогенных хромитовых руд принадлежит сложному сочетанию склоново-эрозионных и денудационно-аккумулятивных процессов в условиях гумидного климата [5] в результате которых выделяется четыре морфогенетических типа руд [3]. Формирование рудных залежей пред-

ставляется двухэтапным. На первом этапе (промежуточный), формируются структурные коры выветривания, в которых хромиты занимают промежуточные формы, между коренным (но уже сильно дезинтегрированными) и экзогенным (но без широкого распространения в охристо-глинистой толще) типами. На втором этапе (рудообразующий) в формировании хромитовой минерализации ведущую роль оказывает плоскостной смыв (денудация) устойчивых продуктов выветривания с поверхности дезинтегрированной коры, образуя аккумуляционный шлейф в виде первичного ореола механического рассеивания хромшпинелидов. При обильных атмосферных осадках на склонах формируются потоки, которые вызывают эрозию склона и водно-гравитационное перемещение материала, аккумулируя хромит в отрицательных формах микроландшафта и у подножья склонов.

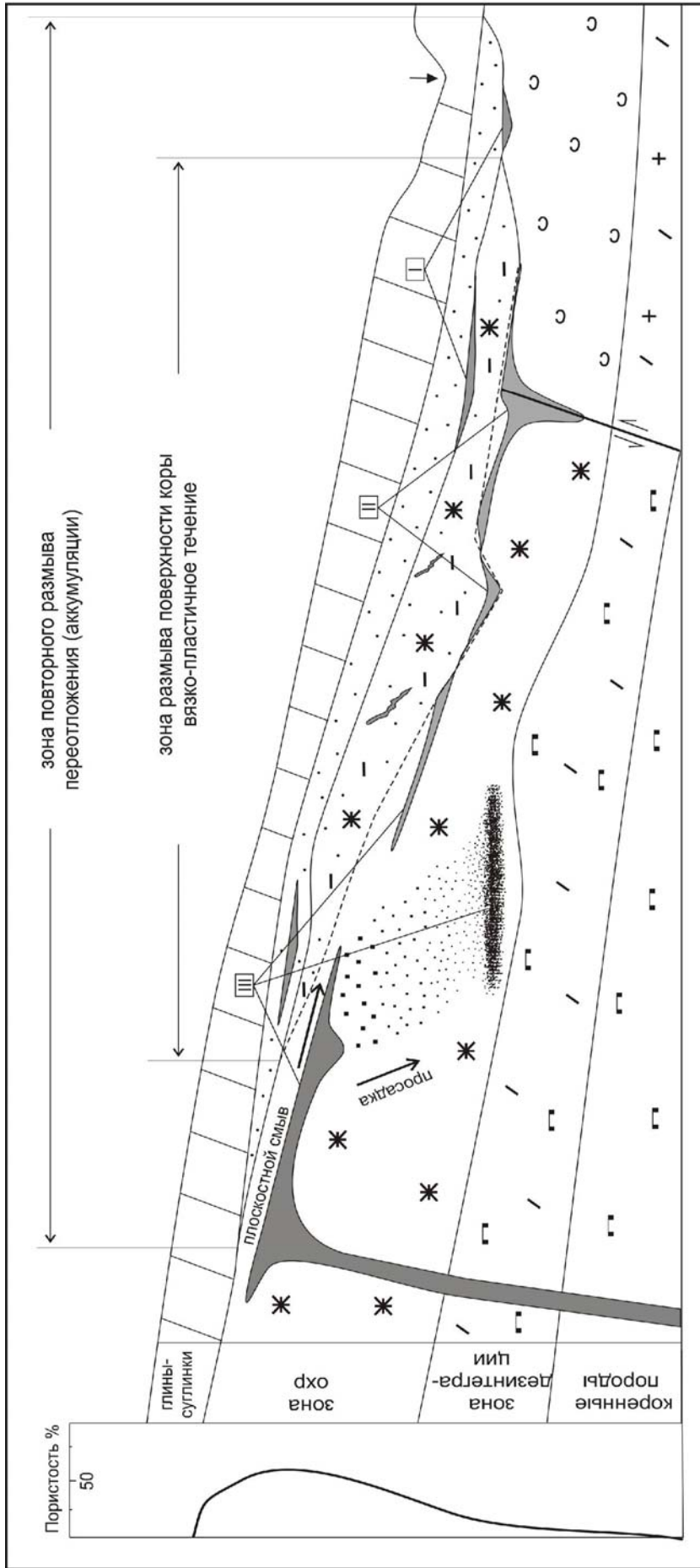
В первом случае, хромит аккумулируется над массивом или его периферических частях в углублениях поверхности коры выветривания (вымоины, рытвины, трещины и др.), которые являются ловушками или коллекторами на пути потока, формируя на поверхности склона разноориентированные линзовидно-линейные тела хромитовых руд.

Возникновение отрицательных форм объясняется тектоническими и климатическими факторами, где при крутизне склона более  $5^\circ$  начинает проявляться разрушительная способность потоков воды и их врезание в поверхность склона, тем самым вызывая проявления струйчатого или рытвенного смыва, а образованные полости служат коллекторами для тяжелых фракций.

Во втором случае накопление хромита происходит в тектонически ослабленных и приконтактных зонах, а рудные тела зачастую перекрыты различными наносами. Отличаются от предыдущих глубиной нахождения, направленностью рудных тел и контрастностью границ.

Формирование плащеподобных залежей хромитовых руд на границе коры выветривания и четвертичных отложений на относительно ровных плоскостях (водораздел Западного участка) обусловлено тем, что в процессе выветривания рудные тела испытывают большее сопротивление выветриванию, в результате чего разрушаются последними, а обломочный материал сохраняется на месте образования (автохтонные руды). В дальнейшем, легкий охристо-глинистый материал сносится ветровым или слабым водным потоком, а более тяжелый хромит сохраняется возле коренного источника. Таким образом, с течением времени, чередованием денудации и эрозии, в верхних слоях коры происходит аккумуляция и обогащение руд с образовыванием псевдоплащеподобных залежей хромитов.

Образование руд в охристо-глинистой толще объясняется интенсивным увлажнением пористых дезинтегрированных серпентинитов, вызывая повышенную проницаемость верхнего слоя коры, что приводит к переходу их в вязко-пластичное состояние и способствует свободному просачиванию зерен хромита. Таким образом, тяжелая фракция обломочного материала накапливается на границе проницаемости сред, образуя так называемые просаженные руды. Для изучаемых массивов глубина просадки не превышает 5 м от кровли коры. При условии крутизны склона более  $3^\circ$ , смоченные породы приобретают подвижность и под гравитационными силами сползают вниз по склону, тем самым смещая и деформируя контуры ореолов.



Типы руд

I- псевдоплащеобразные: а) приповерхностные – за счет плоскостного смыва, б) погребенные – за счет гравитационной просадки

II- линзовидно-линейные: а) в палеодепрессиях, б) приразломных и приконтактных зонах

III- россыпные (перекотложенные): а) над массивом, б) за массивом с T<sub>i</sub>

IV- трещенный в перекотложенных корях

Рис. 5. Схема формирования различных типов руд в корях выветривания хромитоносных ультрабазитов

Формирование ореолов на рассматриваемых участках происходит в непосредственной близости к материнским ультрабазитовым массивам. Следуя положениям «учения о россыпях», ореолы хромита можно классифицировать как россыпи латеритных кор выветривания [6], образующие склоновые и ложковые россыпи ближнего сноса. По генетической классификации отложений хромитовые залежи относятся к элювиально-склоново-делювиальным образованиям с элементами частичного обогащения.

Отличительной особенностью механических ореолов рассеивания хромитов в изучаемых корах выветривания от классических россыпей является их распространение – расстояния перемещения обломочного материала. Так, более 80% хрома не перемещается за контур массива вследствие того, что ограничиваемые каолин-монтмориллонитовые коры имеют положительную форму микроландшафта, в меньшей степени подвержены размыву чем нонtronитовые со значительно меньшей пористостью и проницаемостью. Кроме того, различная скорость образования кор выветривания по кислым и ультраосновным породам и большая устойчивость при размывании приводит к образованию структурных уступов, служащих барьером при сносе хромитонесной коры, в результате чего хромитовая минерализация значительно не распространяется на каолин-монтмориллонитовые породы.

По Восточному участку, с учетом особенности формирования экзогенных хромитовых руд в корах выветривания и сложности морфологии палеорельефа построено 5 прогнозных срезов распространения хромитовой минерализации на глубину. Шаг построения составляет 5 м от кровли коры до зоны дезинтеграции серпентинитов (рис. 6).

Из срезов видно, что продуктивная толща хромитовых руд распространяется в северо-западном направлении со значительной площадной вариацией нулевого контура, а рудная зона приурочена к юго-восточной части массива. С глубиной концентрация хрома заметно снижается и в зоне дезинтеграции серпентинитов достигает минимально промышленного содержания руд. В итоге, по выявленным особенностям перспективная зона хромитового оруденения в коре выветривания на Восточном участке представляет собой смещенный и деформированный ореол, где по форме палеорельефа возможно определять положение и распространение хромитовых руд.

Следует отметить, что широко распространенные вмещающие хромитонесные ультрабазиты, амфиболиты и пироксенитовые кристаллические сланцы служат источником титановой минерализации (содержание Ti до 4,5%), которая в свою очередь часто совместно с хромитом формирует россыпные шлейфы в песчано-глинистых отложениях.

**Заключение.** По результатам обработки месторождений хромитовых руд на карьерах Западный и Школьный установлено, что сильно эродированный профиль коры выветривания ультрабазитов приводит к неравномерному распространению руд как по площади, так и по глубине. Анализ данных разведки на Восточном массиве показал, что древний палеорельеф (кровля коры выветривания) имеет аналогичное с Западным и Школьным массивами сложное

строение с многочисленными воронками, вымоинами и зонами размыва. Для рассмотренных массивов распространение рудных ореолов контролируется общим направлением ската древней поверхности, а промышленные концентрации руд локализуются в различных депрессионных участках преимущественно перпендикулярно направлению размыва.

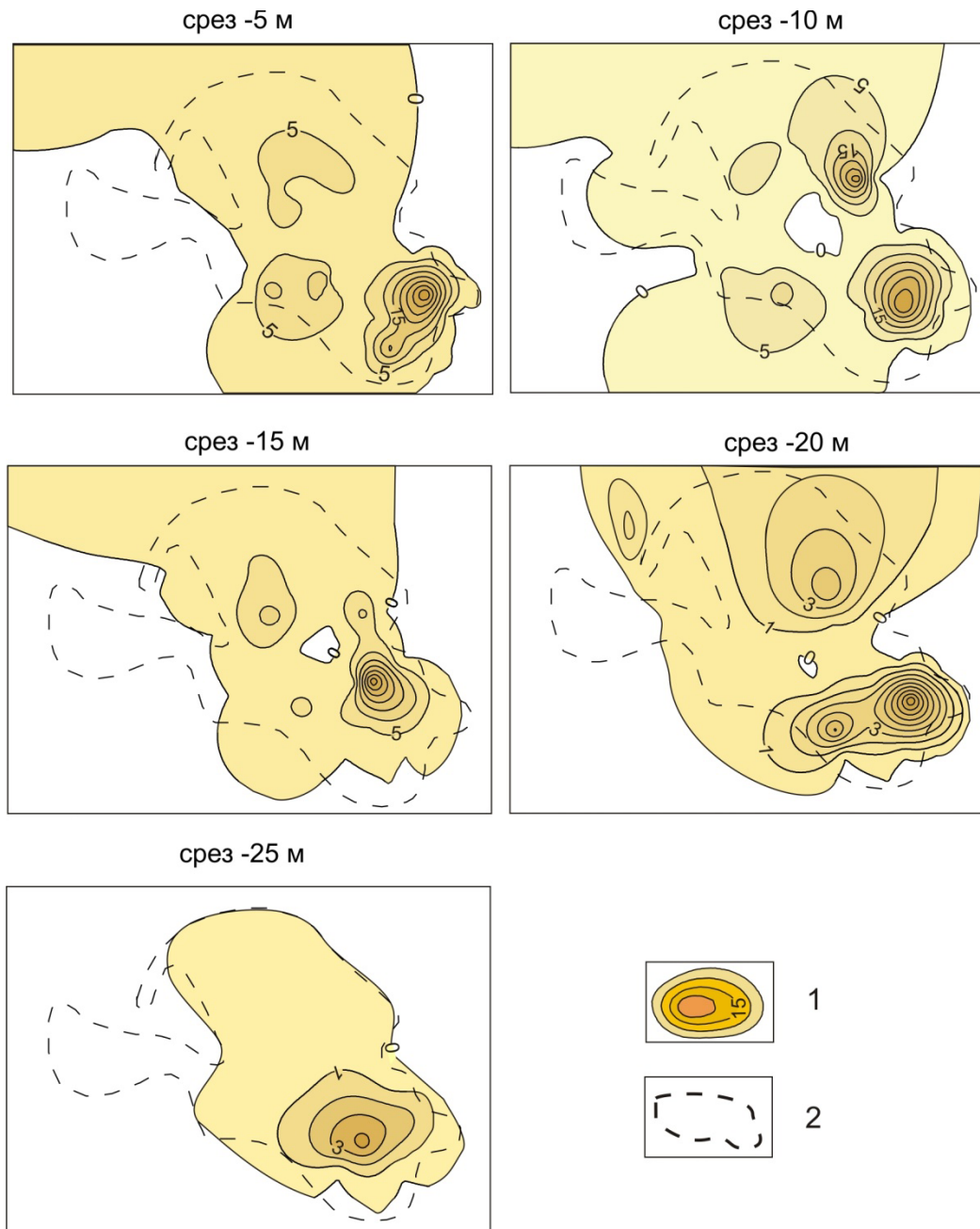


Рис. 6. Прогнозные карты-срезы распространения хромитовых руд на глубину в коре выветривания для Восточно-Липовеньковского массива:

1 – изолинии содержания  $Cr_2O_3$ ; 2 – контур распространения нонтронитовой коры выветривания

Наблюдаемая тенденция при формировании экзогенных хромитовых руд обусловлена различными углами наклона поверхности коры. При угле наклона плоскости до  $3^\circ$  на поверхности коры образуются рудные ореолы овальной

форми на месте коренного источника. При угле склона более 3° формируются конусы сноса, шлейфы со слабой сортировкой обломочного материала. На поверхностях круче 5° формируются глубокие вымоины, рытвины, донная часть которых заполнена крупнозернистым (0,5-1 мм) хромитом с хорошей сортировкой обломочного материала. Содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в экзогенных рудах не зависит от текстурно-структурных особенностей коренных руд.

С учетом возрастающей потребности украинской металлургии в феррохроме, Побужские хромиты кор выветривания являются прямыми конкурентами импортному сырью и заслуживают дальнейшего изучения с установлением закономерностей.

#### Список литературы

1. Гріншпуд В.О., Металургійні властивості хромітових руд Побужжя і розробка раціональних режимів отримання високовуглецевого ферохрому: Автореф. дис...канд.техн.наук: 05.16.02. – Дніпропетровськ, 2006. – 23 с.
2. Металлические и не металлические полезные ископаемые Украины. Т. 1. Металлические полезные ископаемые / [Гурский Д. С., Есепчук К. Е. и др.] – К.: Изд-во «Центр Европы» – 2005. – 785 с.
3. Перков Е.С. Морфологические особенности хромитовой минерализации в корах выветривания ультрабазитов Среднего Побужья / Перков Е.С., Поповченко С.Е. // Науковий вісник НГУ. – 2010. – №9–10. – С. 9–14.
4. Каневский А. Я. Алюмохроммагнетиты Среднего Побужья (Украинский щит) / Каневский А. Я., Возианова Т. Г. // Геологический журнал. – 2008. – №4. – С. 39–42.
5. Билибин Ю. А. Основы геологии россыпей / Билибин Ю. А.; –М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 472 с.
6. Россыпные месторождения России и других стран СНГ / [Патык-Кара Н. Г., Беневольский Б. И., Быховский Л. З. и др.]; под ред. Лаверова Н. П. и Патык-Кара Н. Г.. – М.: Научный мир, 1997. – 479 с.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Приходченком В.Ф.  
Надійшла до редакції 16.03.11*

УДК 553.87(477)

© Л.И. Цоцко

## **ГЕОЛОГО-ГЕММОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЖИЛЬНОГО КВАРЦА**

Представлены результаты исследований геммологических характеристик различных генетических типов жильного кварца Среднеприднепровского и Приазовского мегаблоков Украинского щита, перспективного как камнесамоцветное сырье.

Представлено результати досліджень геммологічних характеристик різних генетичних типів жильного кварцу Середньопридніпровського і Приазовського мегаблоків Українського щита, що перспективний як камнесамоцвітна сировина.

The results of studies gemological characteristics of the different genetic types of vein quartz of Middle Pridneprovie and Priazovsky megablocks in Ukrainian Shield, perspective as a raw gem, are presented.

В пределах Украинской кварценосной провинции, расположенной в южной части Восточно-Европейской платформы, докембрийские безрудные кварцевые жилы связаны с гранитоидами УЩ, а более поздние – с осадочно-метаморфизованными палеозойскими отложениями Донбасса. В результате предыдущих исследований в соответствии с геологическим районированием территории УССР выделено пять полей повышенной концентрации кварцосодержащих объектов: пегматитовое поле Коростенского плутона, поля развития кварценосных объектов Северо-Западного, Среднеприднепровского и Приазовского мегаблоков, пегматитовое поле Корсунь-Новомиргородского плутона и кварцевожильное поле Донбасса [1]. Кварц различных проявлений и месторождений восточных блоков УЩ резко отличается по светопропусканию, наличию минеральных и элементных примесей, что и обуславливает различные области его возможного использования как технического сырья. Для жильного кварца Украинской кварценосной провинции характерно повышенное (на порядок) содержание алюминия и титана по сравнению с другими кварценосными областями.

Геология и минералогия жильного кварца УЩ рассмотрены в работах В.П. Дроздова, И.И. Мирочникова, В.П. Коваленко (1979), Е.К. Лазаренко (1974, 1981), И.Л. Комова (1971, 1986), Б.С. Панова (1975), В.И. Панченко, В.И. Павлишина (1983, 1995, 2001, 2005), И.С. Василишина (1984), Д.К. Возняк, Г.Л. Кравченко (1993), Д.С. Черныш (2003) и др. Несмотря на значительное количество публикаций по кварцу, некоторые научные и прикладные аспекты его изучения остаются недостаточно разработанными. Исследования камнесамоцветного сырья УЩ выполнялись в рамках общих геологических работ и носили попутно-поисковый характер. Кварц безрудных жил гранитоидов юго-восточных блоков УЩ как камнесамоцветное сырье системно не изучался, сведения о его декоративных свойствах не систематизированы, упомянуты в немногочисленных статьях и, в основном, находятся в неопубликованных материалах.

В настоящее время единая общепринятая генетическая классификация кварцевых природных образований, используемых как камнесамоцветное сырье, отсутствует. В связи с этим проведена систематизация кварцевых жил юго-восточной части Украины с учетом промышленно-генетических классификаций месторождений аметиста и горного хрусталя, предложенных Е.Я. Киевленко [2], и анализа геологической информации о локализации кварцево-жильных тел в пределах Среднеприднепровского и Приазовского мегаблоков УЩ. Установлены следующие генетические типы цветного жильного кварца в докембрийских образованиях: в пегматитах, гранитах, гнейсо-мигматитах и тектонитах (тектоно-метасоматические зоны) (табл.1). В приведенной классификации учтены условия образования, вмещающие породы и районы распространения кварцевой минерализации.

Генетические особенности определяют масштабы проявлений, площадь распространения и локализации декоративных разновидностей, структуру и вещественный состав (наличие окрашивающих минеральных и газовой-жидких включений, содержание структурных примесей – декоративных факторов) кварцевых образований, а также технологические параметры кварца (трещиноватость, размер и форма образцов, способность принимать полировку), и в конечном итоге, обуславливают качество и ценность сырья.

Таблица 1

**Генетические типы жильного кварца докембрия юго-восточной части УЩ**

Вмещающие породы	Генетический класс	Форма и мощность кварцевых тел	Декоративные разновидности	Месторождения (проявления)
Граниты	Гидротермально-метаморфогенный	Жилы мощностью до 30 см	Буро-коричневый, розовый (с фиолетовым оттенком), серый, красный сетчатый, полосчатый желто-бурый	Токовское-южное, Токовское-Яма Токовское, Токовское-Водопад
Гнейсо-мигматиты	Гидротермально-метаморфогенный	Жилы мощностью до 18 м	Розовый, желтый, светло-зеленый, концентрически-зональный (арбузный), полосчатый розово-зеленый	Шолоховское, Марьевское, Усть-Каменское, Токовское-северное, Степная Гора
Пегматиты	Пегматитовый	Ядерный, блоковый мощностью до 6 м; жилы мощностью от 0,2 до 10 м	Молочно-белый, светло-серый (льдистый), дымчатый, светло-розовый	Зеленая Могила, Балка Большого Лагерь, Морвинское, Староласпинское
Тектониты (тектоническо-метасоматические зоны)	Гидротермально-метасоматический	Жилы мощностью от 0,3 до 3 м; пласты мощностью до 0,2 м (милонит)	Серый, молочно-белый, светло-розовый, синеватый, милонит, брекчиевидный (абстрактный), контактовый (пейзажный)	Тригузенское, Новониколаевское 1,2 Дибровское, Староласпинское, Диевское



Жильный кварц каждого генетического типа обладает специфическими декоративными и технологическими свойствами, предопределяющими его практическое использование.

Изучение текстурно-структурных особенностей и морфологии жильного кварца юго-восточной части УЩ проводилось по штучным образцам, в прозрачных шлифах (187 штук) и 45 полированных пластинках, изготовленных из прозрачных и полупрозрачных разновидностей. Жильный кварц представляет собой агрегат зерен-индивидов, не имеющих собственной кристаллографической огранки и разделяемых сложными поверхностями. Характер разделяющих границ, форма и размер зерен, химический состав, степень прозрачности кварца определяются условиями его зарождения, роста и последующих природных преобразований. Жильный кварц содержит, как правило, большое количество примесей, которые находятся в различных формах – это твердые минеральные и газовой-жидкие включения (ГЖВ), пленочные, а также структурные примеси. Включения в кварцевых зернах весьма разнообразны как по способу распределения, так и по цвету. В зернах кварца можно наблюдать черные, бурые и зеленые включения различной интенсивности окраски, равномерно распределенные и локализуемые около трещин или в тонких прожилках. Установлено, что основными факторами декоративности, определяющими прозрачность, разнообразие окраски и рисунка кварца являются трещиноватость, элементные и механические примеси разноокрашенных минералов, а также размер, форма и ориентация зерен кварца. К дефектам цветного кварца в сырье относят наличие трещин, пор, раковин, инородных включений, ожелезнение и другие характеристики, снижающие декоративные качества камня, влияющие на его физико-механические свойства или нарушающие целостность камня при обработке.

В основном законодательном документе Украины «О государственном регулировании добычи, производства и использования драгоценных металлов и драгоценных камней и контроле операций с ними» розовый кварц относится к драгоценным камням четвертого порядка, однако требования к его качеству не нормируются техническими требованиями отраслевых стандартов. Определение стоимости сырья и изделий из него требует знания рынка кварца. Геммологический центр при Министерстве финансов Украины публикует в журнале «Коштовне та декоративне каміння» прейскуранты, в которых указана средняя рыночная стоимость сырья и основных видов изделий для разных цветных камней. Стоимостные показатели для изделий и кварцевожильного сырья в настоящее время не разработаны.

Геммологические критерии оценки качества жильного кварца определялись на основании методики, разработанной в Геммологическом центре Государственного ВУЗ «НГУ» (1999-2010), согласно следующим этапам: 1) изучение декоративных и технологических свойств сырья; 2) разработка дизайна и технологических карт изготовления изделий на основании результатов градуировки свойств; 3) определение критериев оценки и групп качества, области использования; 4) определение прогнозной стоимости сырья и изделий [3].

Известно, что в изделиях из цветного камня гармоничное проявление его декоративных свойств в значительной мере зависит от удачного сочетания палитры цвета и текстуры с формой, отдельными элементами и фактурой обработки. В связи с этим проводился комплекс аналитико-экспериментальных исследований в области технологии обработки кварцевого сырья, выработки дизайнерских решений, выявлении свойств, влияющих на художественные достоинства изделий. Изучены декоративные разновидности кварца по цвету и интенсивности окраски, степени прозрачности, рисунку, а также наличие специфических оптических эффектов (иризация, астеризм) и другие характеристики (трещиноватость, твердые и газовой-жидкие включения, зональность, поры и др.). В процессе экспериментальных работ изготовлены полированные срезы, декоративно-художественные и ювелирные изделия различного уровня, а также определены основные геммологические характеристики жильного кварца юго-восточной части УЩ, представленные двумя группами свойств: технологические и декоративные.

Анализ полученной информации стал основанием для определения алгоритма оценки кварцевого сырья и геммологических критериев качества:

- первый этап – изучение технологических свойств (трещиноватость, размер и форма блоков и образцов, качество принимаемой полировки);
- второй этап – изучение декоративных свойств (прозрачность, цвет, рисунок, размер бездефектных областей).

Такая последовательность оценки обоснована тем, что технологические свойства обуславливают возможность обработки камня различными методами, выбор инструмента и рациональной схемы обработки, и, в итоге, определяют принципиальную возможность использования как камнесамоцветного сырья. При повышенной трещиноватости и низком качестве принимаемой полировки изготовление изделий из кварцевого сырья невозможно.

В результате изучения декоративных свойств выделены 16 разновидностей жильного кварца по цвету и по рисунку, которые относятся к ювелирно-поделочной и поделочной группам сырья:

- в гранитах по цвету – буро-коричневый, розовый (с фиолетовым оттенком), серый; по рисунку – сетчатый красный, полосчатый желто-бурый;
- в пегматитах по цвету – молочно-белый, серый (льдистый), дымчатый;
- в гнейсо-мигматитах по цвету – розовый, желтый, серый, светло-зеленый; по рисунку – концентрически-зональный, полосчатый розово-зеленый;
- в тектонитах по цвету – молочно-белый, сине-черный, серый, светло-розовый; по рисунку – брекчиевидный, прожилковый, милонит, контактовый.

Известно, что каждый вид изделий может быть изготовлен из сырья определенного качества (сорта). Качественные характеристики цветного жильного кварца определяют возможность изготовления следующих видов декоративно-художественных и ювелирных изделий самого различного уровня и назначения: кабошоны, плоские вставки, бусины; изделия с элементами художественной резьбы (объемная мозаика, геммы); мелкая пластика (фигурки, цветы); декоративно-художественные изделия (шкатулки, вазы, шары, подставки); авторские работы; галтовка.

На основании комплексных исследований, обобщения и систематизации данных выявлены следующие геолого-геммологические критерии оценки качества цветного жильного кварца юго-восточной части. Критерии выделения сортовых групп жильного кварца определяются геологическими (структурно-тектонические, литологические) факторами и геммологическими свойствами сырья: технолого-эстетическими (форма, размер, полируемость, трещиноватость) и эстетическими (цвет, рисунок, прозрачность). Согласно критериям качества установлены 4 сорта жильного кварца, а также группа коллекционного кварцевого сырья, представленная отдельными кристаллами и друзами кварца гнейсо-мигматитов и гранитов (табл.2).

Таблица 2

Геолого-геммологические критерии оценки качества жильного кварца

Группа качества	Геологические		Геммологические
	Литологический	Структурно-тектонический	
I	Гнейсо-мигматитовые комплексы	Центральная часть мощных кварцевых жил	Розовый просвечивающий в тонких сколах и непрозрачный однородный кварц
II	Жильный и ядерный кварц пегматитов	Хорошо дифференцированные тела слюдоносных и редкометалльных пегматитов; наличие зон разломов	Серый, молочно-белый, дымчатый полупрозрачный и непрозрачный кварц пегматитов
III	Плагиоклазовые и плагиоклаз-микроклиновые мигматиты и граниты, сиениты (тектоно-метасоматические зоны)	Наличие протяженных тектонических зон в эндоконтактах гранитоидов, а также зон дробления и трещиноватости	Порода с пейзажным и текстильным рисунком, образованным прожилками, линзами различной мощности прозрачного, полупрозрачного серого, светло-розового и молочно-белого кварца
IV	Гранитные комплексы	Экзоконтакты гранитных массивов	Непрозрачный трещиноватый кварц розового и коричневого цвета различных оттенков
Коллекционное сырье	Гнейсы, граниты, пегматиты	Альпийские жилы, оперяющие трещины в куполах антиклинальных структур, выклинивание, пересечение, увеличение мощности кварцевых жил	Кристаллы кварца размером до 10 см, друзы и щетки

Декоративно-качественная характеристика и сортность каждого генетического типа цветного кварца юго-восточной части УЩ установлены при группировке проявлений с использованием литературных материалов и учетом данных, полученных в результате лабораторных исследований и полевых геологических наблюдений, а также материалов, предоставленных КП «Укржгеология».

Совокупность геолого-геоммологических критериев на практике обеспечит использование методов рациональной и эффективной разработки комплексных месторождений при попутном отборе качественного кварцевого жильного сырья.

Попутный отбор цветных разновидностей кварца повысит стоимость месторождения, и в то же время понизит себестоимость производства основной товарной продукции (при соответствующем объеме переработки). Требования промышленности к пьезокварцу и оптическому кварцу значительно выше, чем к ювелирному. Так, кристаллы горного хрусталя должны быть достаточно крупными, с высоким светопропусканием (идеально прозрачными), неокрашенными, не содержать включений и трещин. В связи с этим стоимость пьезокварца значительно выше ювелирного.

Характеристики, определяющие декоративные свойства кварца – трещиноватость, наличие элементных и минеральных примесей – недопустимы для индустриального сырья. Результаты исследования кварца различных генетических типов дают основание утверждать, что любой тип кварца с учетом содержания в нем элементов-примесей, имеет свое направление применения в той или иной отрасли хозяйствования. Окрашенные разновидности месторождений и проявлений как некондиционное сырье при добыче технического кварца могут отбираться попутно для камнерезной и ювелирной промышленности.

Полученные результаты по определению геолого-геоммологических критериев оценки качества могут послужить основанием для расширения области применения жильного кварца, а также разработки преискурантов и бизнес-планов при освоении геоммологических объектов жильного кварца разного масштаба.

#### Список литературы

1. Панченко В.И., Василишин И.С., Павлишин В.И. Жильный кварц Украины, возможности его промышленного использования // Минералогия рудных месторождений Украины. – К.: Наук. думка, 1984. – С. 237–245.
2. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н. Геология месторождений поделочных камней. – М.: Недра, 1983. – 262 с.
3. Баранов П.Н. Геоммология: диагностика, дизайн, обработка, оценка самоцветов. – Днепрпетровск: Изд-во "Металл", 2002. – 208 с.

*Рекомендовано до публікації д.геол.н. Барановим П.М.  
Надійшла до редакції 23.03.11*

## СПОСОБ УМЕНЬШЕНИЯ УДЕЛЬНЫХ ЭНЕРГОЗАТРАТ УГОЛЬНЫХ КОМБАЙНОВ НА ТОНКИХ ПЛАСТАХ

Статья посвящена вопросу неэффективности энергопотребления угольного комбайна при работе на маломощных пластах. Предложен способ уменьшения удельных энергозатрат угольного комбайна. Он связан с разработкой критерия определения начала процесса заштыбовки шнека автоматической системой управления.

Стаття присвячена питанню неефективності енергоспоживання вугільного комбайна при роботі на малопотужних шарах. Запропонований спосіб зменшення питомих енерговитрат вугільного комбайна. Він зв'язаний із розробкою критерію визначення початку процесу заштыбовки шнека автоматичною системою управління.

The article is devoted to the question of cutter-loader's electrical energy consumption inefficiency in condition of working at thin coal layers. The method of cutter-loader's energy intensity decrease is proposed. The method is based on criteria of beginning of screw's gumming by cutter-loader's automatic control system development.

**Вступление:** угольные шахты являются энергоемкими предприятиями. Например, на шахте «Красноармейская - Западная №1» за год потребляется 250000 тыс. кВт·ч. Вследствие неоптимального конструктивного исполнения и управления режимами работы горных машин полезная мощность в некоторых случаях оказывается существенно ниже потребляемой (КПД около 50-60 %). На данный момент приоритетным направлением научных исследований в Украине является создание энергосберегающих технологий. В этом свете исследование закономерностей изменения энергосберегающего режима работы горных машин с целью оптимизации конструктивных параметров и алгоритма управления по критерию минимальных удельных энергозатрат является актуальным.

**Последние достижения:** основные принципы регулирования добычными комбайнами, согласно [1], были сформулированы в 30-ые годы XX века группой специалистов под руководством академика А. Н. Терпигорева. Несмотря на то, что ученые опирались на уровень техники того времени, предложенные варианты управления комбайном широко применяются и сегодня. Во всех современных регуляторах режимов работы комбайнов заложен минимальный вариант автоматизации, и различие состоит лишь в способе его технической реализации. Регуляторы органически поддерживают два режима с автоматическим переходом из одного в другой:

- стабилизация нагрузки за счет изменения скорости подачи с учетом ограничений по транспортной способности конвейера, допустимой концентрации метана и других факторов;
- стабилизация скорости подачи при неизменной скорости резания с ограничением по перегрузочной способности привода и названным выше факторам.

На мощных пластах технические ограничения не препятствуют работе угольных комбайнов с максимальным использованием мощности привода резания. Поэтому минимальный вариант автоматизации обеспечивает работу ком-

байнов с максимальной производительностью и минимальными удельными энергозатратами. Но на маломощных пластах из-за ограниченного забойного пространства комбайны имеют другое конструктивное исполнение, при котором значительно снижается погрузочная способность исполнительного органа. Минимальный вариант автоматизации режимов работы становится неэффективным, поскольку при увеличении скорости перемещения комбайна момент заштыбовки шнека наступает задолго до момента максимального использования мощности привода резания. Это приводит к тому, что угольные комбайны работают в режиме затянувшейся заштыбовки шнека, при котором в 1,5-2 раза увеличиваются удельные энергозатраты.

**Формулирование целей статьи, постановка задач.** Целью исследований, описанных в статье, является снижение удельных энергозатрат добычных комбайнов, работающих на тонких пластах. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- определить статистическую оценку мощности электродвигателя привода резания комбайна, закономерность изменения во времени которой существенно меняется при наступлении заштыбовки шнека и остается неизменной при нормальном режиме транспортирования и погрузки угля;

- сформулировать критерий определения начала процесса заштыбовки шнека на ранней стадии автоматической системой для обеспечения работы комбайна на грани заштыбовки переднего шнека.

**Изложение основного материала исследований.** Физические процессы, которые имеют место при работе добычного комбайна на маломощных пластах, исследовались на имитационной математической модели «забой – исполнительный орган – привод резания», созданной на основе литературных источников [2,3,4,5]. В качестве объекта исследования принят добычной комбайн нового поколения УКД300, который спроектирован институтом «Донгипроуглемаш» и серийно выпускается на заводе ЗАО «Горловский машиностроитель» с 2004 года.

Для решения первой задачи в ходе исследований осуществлен анализ динамики мощности двигателя привода резания при работе исполнительного органа комбайна в режимах силовой и несиловой погрузки. Для удовлетворения требованиям, предъявленным в постановке первой задачи, необходимо обеспечить нечувствительность статистической оценки к внешнему возмущающему воздействию в виде низкочастотного изменения нагрузки на исполнительном органе при разрушении угля.

На рис.1 продемонстрирован характер изменения во времени мощности привода резания при различных режимах погрузки угля. Значение скорости подачи комбайна до 15 секунды моделирования принято равным 2,5 м/мин (критическое значение по заштыбовке шнека). После 15 секунды скорость подачи увеличивается на 0,1 м/мин, что вызывает процесс заштыбовки шнека.

Как видно из рис.1, динамика мощности электродвигателя привода резания при работе шнека без заштыбовки (до 15 секунды) имеет стабильный характер. Как показали результаты статистического анализа выборки мощности, среднее

значение, дисперсия и параметры корреляционной функции мощности для несиловой погрузки остаются неизменными во времени. При возникновении заштыбовки шнека случайный процесс изменения мощности электродвигателя привода резания во времени становится нестационарным. До 23 секунды процесс заштыбовки выражен слабо, объем циркулирующего угля в 5 раз меньше рабочего объема шнека, поэтому существенных изменений в динамике мощности не наблюдается. После 23 секунды работы шнека, спустя 8 секунд после начала заштыбовки шнека, происходит существенный нелинейный рост средней мощности электродвигателя привода резания и значительно увеличивается амплитуда колебаний. Это связано с началом интенсивного перераспределения длительностей интервалов несиловой и силовой погрузок угля в периоде оборота исполнительного органа в сторону последней. На 41 секунде в периоде оборота шнека остаются только интервалы силового транспортирования и погрузки угля, благодаря чему исчезают резкие перепады мощности погрузки при переходе от силового режима погрузки угля к несилowому и наоборот. После 41 секунды амплитуда колебаний мощности значительно снижается, а рост мощности становится линейным и менее интенсивным.

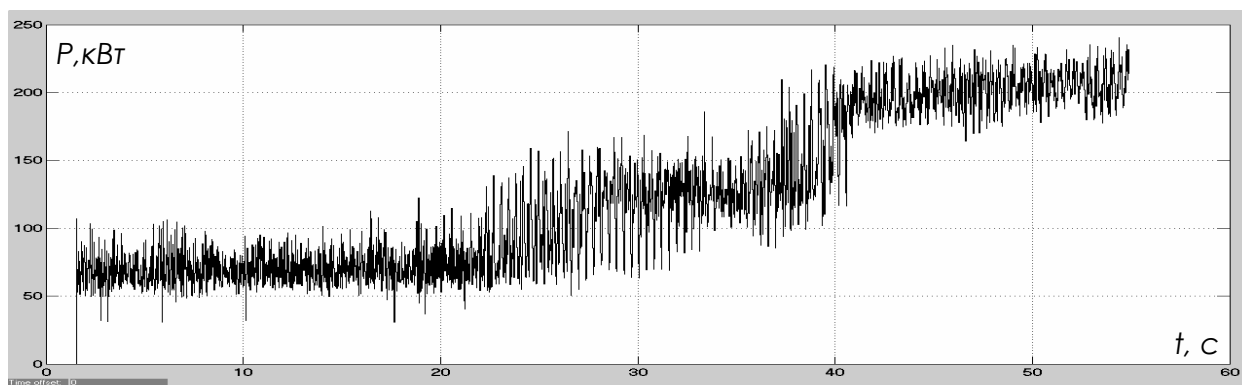


Рис.1. Изменение во времени мощности электродвигателя привода резания в процессе работы комбайна УКД300

Когда процесс заштыбовки на исполнительном органе входит в фазу перераспределения в периоде оборота шнека длительностей интервалов силовой и несиловой погрузок угля (на рис.1 с 23 по 41 секунды моделирования), резко увеличивается амплитуда колебаний составляющей мощности, связанной с погрузкой угля. Если до 23 секунды моделирования, когда заштыбовка была выражена слабо, колебание мощности (при перемещении комбайна со скоростью 2,5 м/мин) происходило между 27,5 и 124 кВт, то с 23 по 41 секунды моделирования верхний предел увеличился до 167 кВт (на 34%). Более того, если до 23 секунды в динамике мощности двигателя привода резания наблюдалось наличие в основном высоких частот с преобладанием резонансной частоты электродвигателя (11,6 Гц), то после 23 секунды колебания мощности стали происходить с более низкой частотой, кратной частоте вращения исполнительного органа. Описанное явление в значительной степени отражается на закономерности

сти изменения во времени коэффициента вариации мощности, который характеризует размах колебания случайной величины вокруг среднего значения.

В качестве параметра, по которому определяется начало заштыбовки шнека, выбрано скользящее значение коэффициента вариации мощности. Алгоритм замера параметра описывается следующим аналитическим выражением:

$$k_{вар.i} = \sum_{x=i-180}^i \left| P_x - \left( \sum_{x=i-180}^i P_x \right) \cdot 180^{-1} \right| \cdot \left( \sum_{x=i-180}^i P_x \right)^{-1},$$

где  $k_{вар.i}$  – скользящее значение коэффициента вариации мощности, потребляемой электродвигателем привода резания;  $i$  – номер текущего значения численного критерия заштыбовки  $k_{вар.i}$ ;  $P_x$  – мгновенное значение мощности электродвигателя привода резания при усреднении, кВт.

Благодаря предложенному алгоритму замера скользящего значения коэффициента вариации мощности, практически устраняется влияние случайной высокочастотной составляющей нагрузки на исполнительном органе. Это достигается выбором времени и шага реализации случайного процесса.

В ходе исследований работа добычного комбайна рассматривалась без значительных изменений скорости подачи и на коротких временных интервалах. Эти условия позволяют с достаточной точностью применить для описания физических процессов в приводе резания стационарную линейную математическую модель в виде системы линейных дифференциальных уравнений. С помощью приложения программы Matlab “Control System Toolbox” по полученной амплитудно-частотной характеристике привода резания определена частота среза, которая составила 30,24 Гц. Следовательно, согласно теореме Котельникова, рекомендуемый шаг реализации случайного процесса:

$$\Delta t = \frac{\pi}{2 \cdot \pi \cdot f_{ср}} = \frac{\pi}{2 \cdot \pi \cdot 30,24} = 0,017, \text{ с.}$$

Зная шаг реализации и корреляционную функцию высокочастотной составляющей мощности привода резания, рассчитывается число замеров  $N$  по известной формуле для дисперсии оценки среднего значения при известной корреляционной функции случайного процесса из условия:

$$\frac{\sqrt{\sigma_{оц}^2(N)}}{P_{ср}} \leq 0,07,$$

где  $\sigma_{оц}^2$  – дисперсия оценки среднего значения мощности электродвигателя привода резания, кВт<sup>2</sup>;  $P_{ср}$  – среднее значение мощности электродвигателя привода резания, кВт. Рассчитанное число замеров мощности  $N$  для дискретной реализации случайного процесса составило 180. Следовательно, необходимое время реализации составило 3,1 секунды.

Низкочастотные колебания нагрузки на исполнительном органе менее 1 Гц отображаются в колебаниях мощности привода резания без изменений. В про-



цессе работы комбайна происходит модуляция высокочастотных составляющих мощности низкочастотными, поэтому среднее арифметическое значение мощности, замеренное в течение 3,1 секунды, будет колебаться во времени с низкими частотами (менее 1 Гц) и равномерным распределением дисперсии между ними. Данные колебания средней мощности вызваны процессом разрушения угля исполнительным органом и не должны оказывать существенное влияние на параметр, по которому фиксируется заштыбовка шнека. Это требование по отношению к выбранной статистической оценке обеспечивается благодаря незначительной зависимости среднего коэффициента вариации силы резания от изменений средней силы резания на резце:

$$\bar{k}_{var} = \frac{\sigma_Z}{\bar{Z}} = \frac{0,56 \cdot \bar{Z} + 50}{\bar{Z}} = 0,56 + \frac{50}{\bar{Z}}, \quad (1)$$

где  $\sigma_Z$  – среднеквадратическое отклонение силы резания на резце, Н;  $\bar{Z}$  – средняя сила резания на резце, Н. Из формулы (1) видно, что при высоких значениях  $\bar{Z}$  второе слагаемое имеет намного меньший вес, чем первое. Для комбайна УКД300 в момент начала заштыбовки, при скорости подачи 2,6 м/мин,  $\bar{Z} = 790$  Н, а доля второго слагаемого составляет 10%.

В ходе исследований на имитационной модели закономерностей изменения во времени скользящего значения коэффициента вариации мощности двигателя привода резания при различных режимах погрузки угля было установлено:

- при перемещении комбайна без заштыбовки шнека с критической скоростью подачи, равной 2,5 м/мин, коэффициент вариации мощности изменялся случайным образом в пределах от 0,09 до 0,13. При длительных замерах установлено, что колебания коэффициента вариации, вызванные ошибкой усреднения из-за ограниченности интервала наблюдения и влиянием низкочастотной составляющей нагрузки на исполнительном органе, происходят в пределах -18,2% ÷ +18,2% от среднего значения. Максимальная ошибка усреднения из-за ограниченности интервала составила 7,5%. Установлено, что при максимально динамичном влиянии низкочастотной составляющей на исполнительном органе изменение коэффициента вариации мощности составило 10,7%;

- при наступлении заштыбовки шнека в момент перераспределения длительностей интервалов силовой и несиловой погрузок в периоде оборота шнека происходит резкий рост коэффициента вариации мощности двигателя привода резания, значение которого повышается до 0,182, то есть на 63,6%.

Сделанные наблюдения подтверждаются рис.2, на котором показана динамика скользящего значения коэффициента вариации мощности двигателя привода резания, усредненного по предложенному алгоритму.

На рис.2 сплошной линией представлена динамика скользящего значения коэффициента вариации  $k_{var.i}$  при наступлении заштыбовки шнека. Для этого случая до 15 секунды моделирования скорость добычного комбайна составляла 2,5 м/мин. После 15 секунды скорость подачи увеличилась до 2,6 м/мин, что вызвало начало процесса заштыбовки шнека. Штрихпунктирной линией показана динамика коэффициента  $k_{var.i}$  при неизменной скорости подачи 2,5 м/мин

без заштыбовки шнека. До 15 секунды обе кривые изменяются в указанных пределах от 0,092 до 0,118. После 15 секунды, спустя некоторое время, происходит резкий рост сплошной линии до значения 0,182, тогда как штрихпунктирная линия не выходит за указанные пределы.

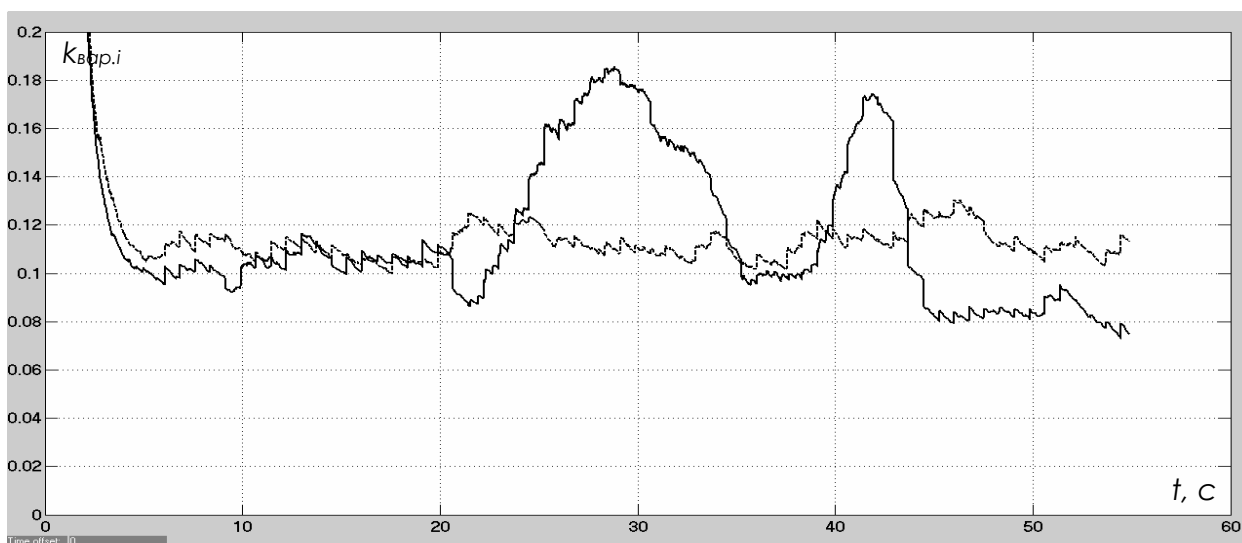


Рис.2. Изменение во времени скользящего значения коэффициента вариации мощности электродвигателя привода резания

С учетом выбранной статистической оценки мощности, по которой системой автоматического управления комбайном определяется заштыбовка шнека, критерий наступления заштыбовки шнека звучит следующим образом. Если скользящее значение коэффициента вариации мощности двигателя привода резания, усредненное относительно 3,1 секунды, превысит верхний предел, равный  $1,182 \cdot k_{вар.ср}$  (“0,13” для комбайна УКД300), или опустится ниже минимального предела, равного  $0,818 \cdot k_{вар.ср}$  (“0,09” для комбайна УКД300), то это означает, что имеет место заштыбовка шнека:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{вар.i} > 1,182 \cdot k_{вар.ср} \text{ или } k_{вар.i} < 0,818 \cdot k_{вар.ср} \quad - \\ \qquad \qquad \qquad \text{заштыбовка шнека} \\ 0,818 \cdot k_{вар.ср} \leq k_{вар.i} \leq 1,182 \cdot k_{вар.ср} \quad - \\ \qquad \qquad \qquad \text{отсутствие заштыбовки шнека} \end{array} \right.$$

где  $k_{вар.ср}$  – коэффициент вариации мощности двигателя привода резания, усредненный на временном интервале с момента изменения уставки скорости подачи до текущего момента времени.

При длительном моделировании работы системы автоматического управления добычным комбайном УКД300 по предложенному алгоритму установлены следующие особенности:

- середнє значення часу, що пройшло з початку процесу заштыбовки шнека до моменту фіксування заштыбовки, склало 8,7 секунд (коефіцієнт варіації даного параметра дорівнює 0,055);

- середнє значення об'єму циркулюючого вугля к моменту фіксування заштыбовки склало 0,00588 м<sup>3</sup>, т. є. 23,1% від робочого об'єму шнека (коефіцієнт варіації даного параметра дорівнює 0,047);

- при порівнянні результатів імітаційного моделювання робіт системи автоматичного управління комбайном УКД300, що реалізує мінімальний варіант автоматизації, і системи автоматичного управління, що реалізує запропонований алгоритм, встановлено, що середні удільні енергозатрати на руйнування, транспортування та завантаження вугля шнеком знизилися на 45%.

#### Список літератури

1. Автоматизація процесів підземних гірних робіт / Під ред. проф. А. А. Іванова. — К., 1987. — 328 с.
2. Докукін А. В., Красніков Ю. Д., Хургін З. Я. Статистична динаміка гірних машин. — М.: Машинобудування, 1978. — 239 с.
3. Позин Е. З., Меламед В. З., Тон В. В. Руйнування вугілля виємочними машинами / Під ред. Е. З. Позина. — М.: Недра, 1984. — 288 с.
4. Стариков Б. Я., Азарх В. Л., Рабинович З. М. Асинхронний електропривід очисних комбайнів. — М.: Недра, 1981. — 288 с.
5. Бойко Н. Г. Завантаження вугля очисними комбайнами / Під ред. Н. Г. Бойко. — Донецьк: РВА ДонНТУ, 2002. — 157 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 16.05.11*

УДК 624.131.23

© Н.В. Зуєвська, Л.В. Шайдецька, Ю.В. Волик

### **НЕСУЧА ЗДАТНІСТЬ ЛЕСОВИХ ҐРУНТІВ ПРИ УТВОРЕНІ ЗОНИ ҐРУНТОЩЕБЕНЮ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕНЕРГІЇ ВИБУХУ**

В результаті вибухового армування утворюється ущільнений масив ґрунтощепеня із змінними характеристиками щільності в залежності віддалення від вибуху в масиві лесових ґрунтів. В роботі досліджується зміна модулю пружності ґрунтощепеню в залежності від процентного вмісту щепеню.

В результаті взривного армування отримується ущільнений масив ґрунтощепеня з змінюючимися характеристиками щільності в залежності від віддалення від вибуху в масиві лесових ґрунтів. В роботі досліджується зміна модулю пружності ґрунтощепеню в залежності від процентного вмісту щепеню.

The close-settled zone of soil-macadam as a result of explosive re-enforcement. The closeness of soil-macadam zone changes depending on moving away from an explosion. The change of the module of resiliency is in-process investigated depending on percent content of macadam.

Міцний і водостійкий шар ґрунтощепеню, отриманий шляхом вибухового впровадження частинок щепеню в лесовий просадочний ґрунт з паралельним

його ущільненням, в значній мірі залежить від послідовності розподілу частинок щебеню в масі ґрунтощебеню. В результаті вибуху розподіл часток щебеню відбувається нерівномірно. З віддаленням від вибуху відсоткове співвідношення щебеню до зволоженого лесового просадочного ґрунту зменшується. У результаті отримують ущільнений масив ґрунтощебеню з змінними характеристиками міцності в залежності від віддалення від вибуху (рис 1).

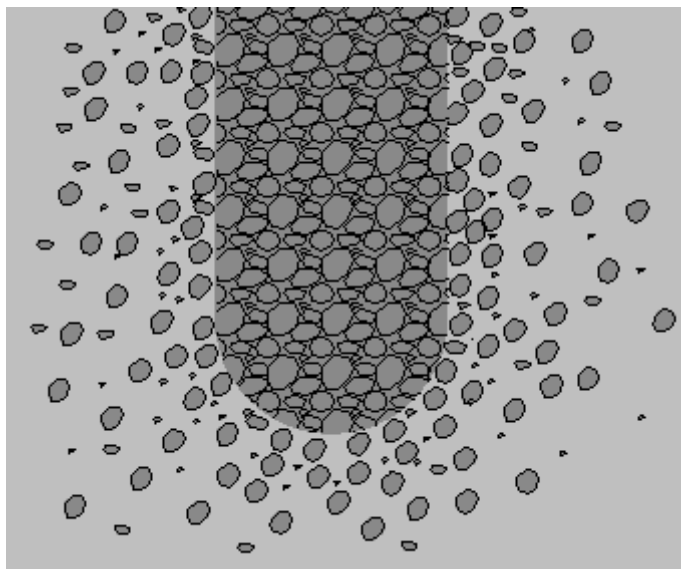


Рис 1. Утворення ґрунтощебеневої зони вибухом.

Пізніше ґрунтощебенева зона доущільнюють за рахунок кінцевих стадій досипання щебеню та трамбування. По закінченню армування ґрунту необхідно визначити несучу здатність ґрунтощебеневої зони, що знаходиться в середині масиву лесових просадних ґрунтів. Сформовані зразки випробовують на стиск з визначенням модуля деформації. Міцність ґрунтощебеню оцінюється модулем деформації, за межею довгострокового опору при стисканні.

Одним з основних питань при розрахунку міцності зон ґрунтощебеню є наявність оптимальної кількості щебеню. Велике значення має і міцність самого кам'яного матеріалу з якого виготовлений щебінь. Чим міцніше щебінь, тим вище міцність, а слабо міцний щебінь інтенсивно руйнується.

Склад конгломератних матеріалів, до яких відноситься і ґрунтощебінь, звичайно виражають у відносних одиницях на одиницю об'єму матеріалу. На рис 2. наведена діаграма, коли вміст щебеню визначено по об'єму, а на рис.3 – якщо вміст щебеню визначено по вазі.

Для оцінки несучої здатності ґрунтощебеню який знаходиться в тілі лесового просадного масиву були визначені модулі деформації зразків ґрунтощебеню в ущільненому стані. Зразки були взяті через кожні 100 мм від початку утвореної вибухом зони ґрунтощебеню і відсотковий вміст щебеню крупністю 40 мм в них приблизно складав 30, 40, 50 і 60%. Випробовувалися зразки висотою  $H = 11,16$  см на важільному пресі поступовим навантаженням, що дорівнює  $P_{cm} = 0,4$  МПа в часі. Час дії навантаження фіксувався з допомогою секун-

доміра, а деформація за двома індикаторами годинникового типу з точністю до 0,01 мм.  $P_0 = 0,1$ .

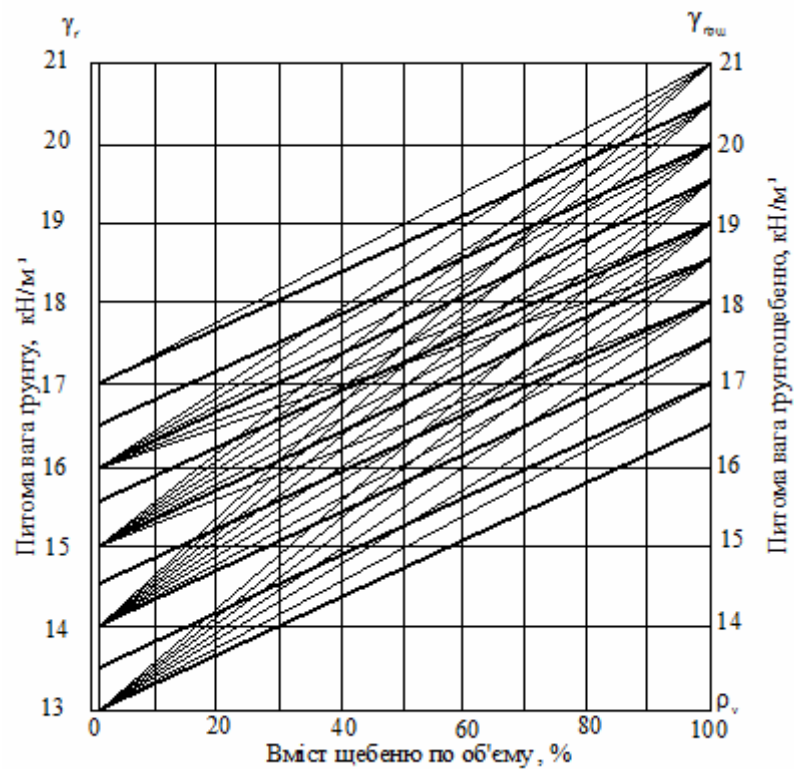


Рис.2. Визначення питомої ваги ґрунтощобеню по вмісту щобеню по об'єму при фракціях щобеню 40 мм

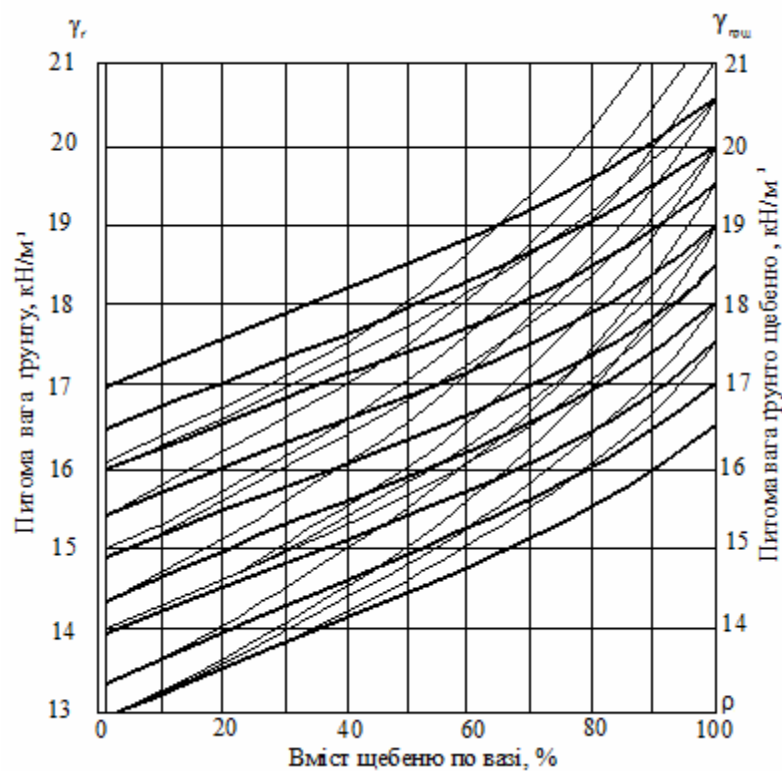


Рис. 3. Визначення питомої ваги ґрунтощобеню відносно до вмісту щобеню по вазі при фракціях щобеню 40 мм

## Випробування ґрунтощобєневих зразків на міцність

Вміст щебеню, %	Час	Деформація $h$ , мм			Відносна деформація $\frac{h}{H}$
		№ 1	№ 2	середня	
30	1 сек	0,18	0,20	0,19	0,0017
	20 хв	0,23	0,25	0,24	0,0022
40	1 сек	0,12	0,14	0,13	0,0012
	20 хв	0,14	0,15	0,145	0,0013
50	1 сек	0,10	0,12	0,11	0,001
	20 хв	0,11	0,13	0,12	0,00105
60	1 сек	0,10	0,11	0,105	0,00094
	20 хв	0,11	0,105	0,108	0,00097

За результатами вимірювань обчислюється величина миттєвого і тривалого модуля деформації ґрунтощобєню даного складу та отримуємо залежність модуля деформації ґрунтощобєню від вмісту частинок щебеню (рис 4). Миттєвий модуль деформації обчислюємо при часі дії навантаження 1 сек., тривалий - при часі дії навантаження - 20 хв.

$$E_{0,мит} = \frac{P_{cm}}{h} = \frac{0,4}{0,0017} = 235 \text{ МПа},$$

$$E_{0,тр} = \frac{P_{cm}}{h} = \frac{0,4}{0,0022} = 182 \text{ МПа}.$$

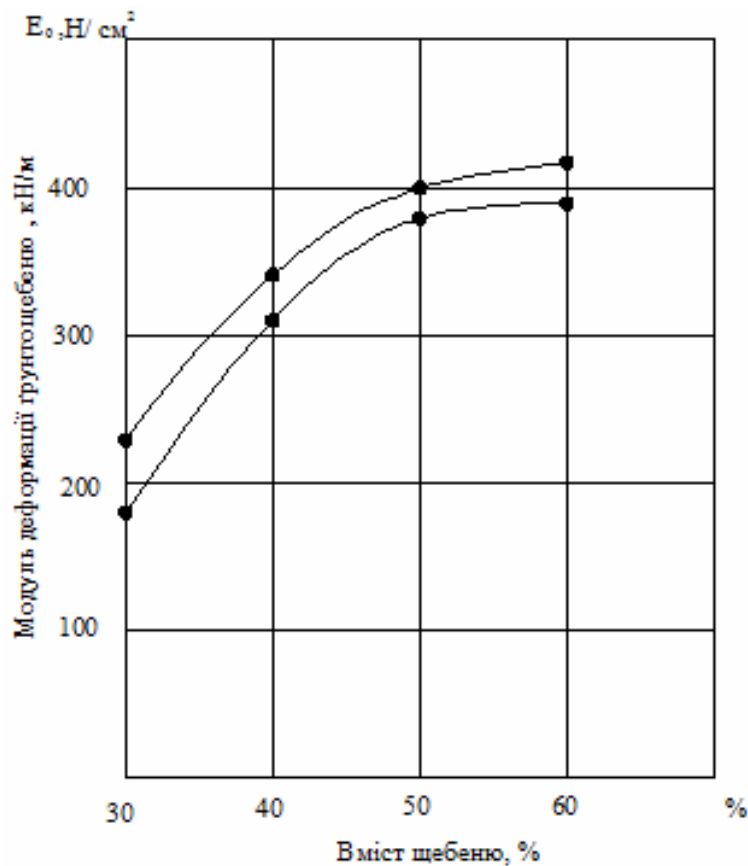
Кількість щебеню можна виразити через кількість лесового просадочного ґрунту в одиниці об'єму

$$P_{щ} = \frac{\rho_V \cdot \gamma_{щ}}{(1 - \rho_V) \gamma_z} \cdot P_z.$$

Вміст щебеню в одиниці об'єму можна отримати, використовуючи рівняння для модуля деформації ґрунтощобєню

$$\rho_V = \frac{E_{0,зрщ} - E_{0,з}}{k \cdot E_{щ} - E_{0,з}}$$

де  $k = 0,6$  - структурний коефіцієнт;  $E_{щ}$ ,  $E_{0,з}$ ,  $E_{0,зрщ}$  - відповідно модуль пружності щебеню, модуль деформації ґрунту і ґрунтощобєню, МПа.



1-миттєвий модуль деформації  $E_{0,mit}$ ; 2- тривалий модуль деформації

Рис.4. Залежність модуля деформації ґрунтощобеню від вмісту частинок щебеню крупністю 40 мм.  $E_{0,mp}$

Кількість ґрунту в одиниці об'єму ґрунтощобеню визначаємо з рівняння, підставивши в обчисленні вище значення для інших складових ґрунтощобеню.

Наведемо приклад розрахунку складу ґрунтощобеню при наступних вихідних даних:

- ґрунт - лесовидний суглинок із наступними фізико-механічними характеристиками: границя текучості  $W_L = 27\%$ , границя розкочуваності  $W_P = 14\%$ , питома вага ґрунту  $\gamma_z = 15,6 \text{ кН/м}^3$ , модуль деформації ґрунту, в якому була утворена ґрунтощобенева зона  $E_{0,z} = 5,4 \text{ МПа}$

- гранітний щебень - питома вага щебеню  $\gamma_{щ} = 19,8 \text{ кН/м}^3$ , пористість щебеню  $9,2\%$ , водопоглинання  $3,8\%$ , модуль пружності щебеню  $E_{щ} = 180 \text{ МПа}$ .

Експериментально встановлений модуль деформації ущільненого вибухом зони ґрунтощобеню  $E_{0,зрщ} = 32 \text{ МПа}$ , та;

1. Визначаємо вміст щебеню в ґрунтощобеневій суміші

а) вміст щебеню по об'єму:

$$\rho_V = \frac{E_{0,зрщ} - E_{0,z}}{k \cdot E_{щ} - E_z} = \frac{32 - 5,4}{0,6 \cdot 180 - 5,4} = 0,26$$

б) питома вага ґрунтощепеню

$$\gamma_{0,зрщ} = \rho_V \gamma_{щ} + (1 - \rho_V) \cdot \gamma_z = 0,26 \cdot 19,8 + (1 - 0,26) \cdot 15,6 = 16,7 \text{ кН/м}^3$$

в) вміст щепеню по вазі

$$\rho = \frac{\rho_V \cdot \gamma_{щ}}{\gamma_z + \rho_V (\gamma_{щ} - \gamma_z)} = \frac{0,26 \cdot 19,8}{15,6 + 0,26(19,8 - 15,6)} = 0,3$$

2. Виконуємо визначення кількості складових ґрунтощепеню в одиниці об'єму.

Кількість щепеню

$$\gamma_{d,щ} = \frac{\rho_V \cdot \gamma_{щ}}{(1 - \rho_V) \cdot \gamma_z} \cdot \gamma_{d,z} = \frac{0,26 \cdot 19,8}{(1 - 0,26)15,6} \cdot \gamma_{d,z} = 0,45 \cdot \gamma_{d,z} \text{ кН/м}^3$$

де  $\gamma_{d,щ}$  - питома вага сухого щепеню в складі ґрунтощепеню в кН;

$\gamma_{d,z}$  - питома вага сухого ґрунту в складі ґрунтощепеню в кН;

Для моделювання процесу вибухового армування просадного лесового ґрунту жорстким щепеневим заповнювачем необхідно знати зміну несучої здатності армованого ґрунту в залежності від відсоткової долі часток щепеню в ґрунтощепеневій зоні. В результаті проведених досліджень можна розрахувати зміну несучої здатності ґрунтощепеневій зоні в залежності від віддалення від центру вибуху. Якщо буде відомо на яку відстань в результаті вибуху розлітаються частки щепеню в ґрунті і яке процентне співвідношення розподілу цих часток можна визначити несучу здатність ущільненої армованої зони та навпаки по зміні модуля деформації можна підрахувати процентний розподіл розльоту часток жорсткого армуючого матеріалу.

#### Список літератури

1. Ляхов Г.М. Волны в пористых многокомпонентных средах. М.: Наука, 1982. – 234 с.
2. Ремез Н. С. Особливості деформування твердого багатокомпонентного в'язкопластичного середовища зі змінним коефіцієнтом в'язкості при динамічних навантаженнях // Вісник наукових праць НТУ України "Київський політехнічний інститут". Серія "Гірництво": Збірник наукових праць. - Київ, 2000. - Вип. 3. - С. 34-39.
3. Механический эффект взрыва в грунтах / Лучко И.А., Плаксий В.А., Ремез Н.С. и др. – Киев: Наук. думка, 1989. – 232 с.
4. Физика взрыва. /Под ред Л.П. Орленко. / Изд. 3-е переработанное. – В 2-х т. Т 2. М.: Физматлит, 2002. – 656 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Симоненком В.І.  
Надійшла до редакції 01.06.11*



## **ФОРМИРОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ГРУЗОВ НАПОЧВЕННЫМИ КАНАТНЫМИ ДОРОГАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ**

По результатам исследований параметров взаимодействия основных элементов напочвенной канатной дороги с произвольным профилем трассы установлено, что потенциальным источником повышения эксплуатационной надежности ДКН является система управления процессами перемещения грузов в выработках сложной конфигурации.

За наслідками досліджень параметрів взаємодії основних елементів надгрунтової канатної дороги з довільним профілем траси встановлено, що потенційним джерелом підвищення експлуатаційної надійності ДКН є система управління процесами переміщення вантажів у виробленнях складної конфігурації.

On results researches of parameters of co-operation of basic elements of napochvennoy funicular road with the arbitrary type it is set of route, that of rise of the operating reliability DKN the system is a potential source of process control of moving of loads in making of the complicated configuration.

Положительные результаты исследований на шахте «Павлоградская» эксплуатационных параметров экспериментального образца напочвенной канатной дороги нового поколения типа ДКНП-1,6 позволили рекомендовать ее в качестве единого транспортного средства при проведении участковых подготовительных выработок и разработать положения по дальнейшему совершенствованию конструкции и системы оперативного управления грузопотоками в искривленных в профиле и плане выработках длиной до 3500 м. Необходимость совершенствования последнего обусловлена тем, что в действующей системе управления процессами перемещения грузов напочвенной канатной дорогой (ДКН) выявлено ряд несовершенств в системе управления взаимодействием основных элементов (состава вагонеток, тягового каната, привода) с произвольным профилем трассы.

Цель настоящего исследования является установление потенциальных источников совершенствования системы управления процессами транспортирования грузов напочвенными канатными дорогами в условиях неопределенности горнотранспортных состояний.

При этом для формирования базы данных, необходимой в совершенствовании системы управления процессами перемещения грузов в условиях неопределенности были проведены пооперационные исследования режимов работы напочвенной канатной дороги при транспортировании грузов от подготовительных забоев проводимых выработок.

Результаты исследований эксплуатационных параметров процессов транспортирования горной массы ДКН при комбайновом проведении участковых подготовительных выработок приведены в таблице 1.

Таблица 1

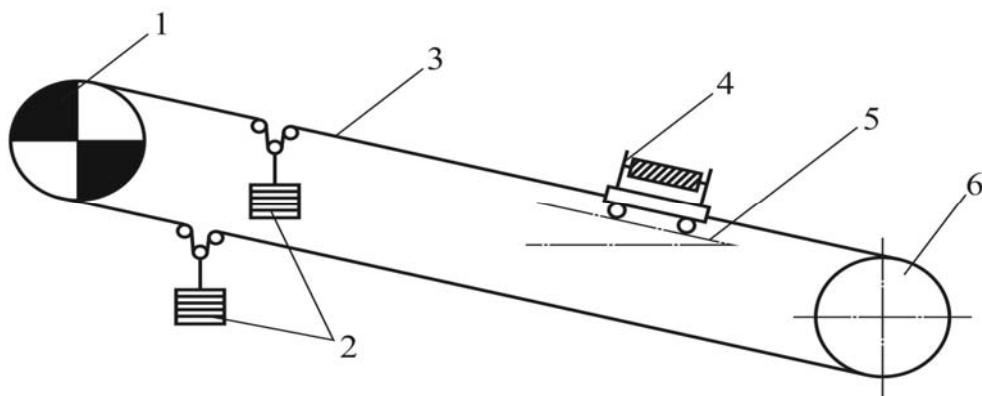
## Результаты исследований эксплуатационных параметров ДКН

№п/п	Наименование операций	Время операции, мин	Среднее арифметическое выборки	Среднеквадрат. отклон.	Относительная погрешность измерения, %	Результаты измерений	Доверит. вероятн	Примечание
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I	Погрузка партии вагонеток у забоя	39,0 35,0 38,0 22,0 37,0 35,0 30,0 35,0 24,0 32,0	32,7	25,7	17,4%	32,7±5,7	0,96	504 сб. штрек, длина L=1100 м, вагонеток ВД-2,5 Количество вагонеток в партии – 7. Движение груза вниз Напочвенная дорога ДКН-3
II	Движение погруженной партии вагонетки	12,0 10,0 13,0 13,0 13,0 18,0 16,0 13,0 17,0 14,0	13,9	2,515	18,0%	13,9±2,515	0,96	
III	Движение порожней партии к забою	13,0 13,0 14,0 13,0 13,0 17,0 20,0 14,0 13,5 13,0	13,3	2,33	16,2%	14,3±2,33	0,96	
IV	Разгрузка грузной партии	17,0 25,0 30,0 20,0 12,0 20,0 20,0 35,0 30,0 32,0	24,1	7,7	9,2%	24,1±7,7	0,96	

При этом анализ производственных ситуаций и показателей работы ДКН в выработках, искривленных в профиле и плане, дают все основания - рассматривать ее в функциональном отношении как сложную транспортно-технологическую систему «подвижной состав - тяговый канат - шкив трения».

Условия взаимодействия элементов транспортно-технологической системы определяются конструктивными особенностями ДКН, принципом ее действия, параметрами горной выработки и поведением пород ее вмещающих.

В конструктивном отношении напочвенная канатная дорога представляет собой кольцевую тяговую систему с подсоединенным к ней сосредоточенным грузом (рис. 1). ДКН обеспечивает перемещение по рельсовому пути 5 состава вагонеток, подсоединенных к буксировочной тележке 4. Движение состава осуществляется по челноковой схеме с помощью замкнутого тягового каната 3, приводимого в движение посредством вращения шкива трения привода 1 напочвенной канатной дороги. Рабочая и холостая ветви тягового каната перемещаются по направляющим роликам, укрепленным на почве и боковых стенках горной выработки. Натяжение каната по сцеплению создается грузовыми натяжными устройствами 2, а вращение шкива трения обеспечивается приводным электрическим двигателем.



1 – привод канатной дороги; 2 – грузы; 3 – канат; 4 – тележка/вагонетка;  
5 – рельсовый путь; 6 – натяжная станция

Рис. 1. Принципиальная кинематическая схема напочвенной канатной дороги

Управление процессами движения грузеных и порожних составов вагонеток осуществляется аппаратурой дистанционного управления АДУ-1,1М, предназначенной для подъемных машин, эксплуатируемых в подземных выработках угольных и сланцевых шахт, опасных по взрыву газа и пыли.

Действующая система управления грузопотоками настроена на визуальный контроль, а также выдачу сигналов и команд на выполнение штатных ситуаций и режимов работы узлов и подсистем напочвенной канатной дороги, характерных для стабильных условий работы. К характерным штатным режимам управления работой ДКН следует отнести: выдачу сигналов на управление работой привода рабочего тормоза; команд на срабатывание предохранительного тормоза в случае нарушения целостности цепи обмотки электромагнита УПТВ;

размыкание цепи защиты при достижении ДКН предельно допустимой скорости на участках пути разгона, равномерного хода и замедления и др.

Необходимо отметить, что в условиях обильных водопритокков и интенсивного пучения пород почвы подготовительных выработок нарушается их проектное сечение и образуется знакопеременный профиль рельсового пути. Это приводит к возникновению нештатных производственных ситуаций, которые существенно снижают эффективность работы ДКН. Нарушение условий взаимодействия подвижного состава с рельсами и крепью подготовительной выработки провоцирует возникновение нештатных ситуаций в работе привода ДКН, тягового каната и других подсистем рассматриваемой транспортно-технологической системы.

В процессе исследования причин неритмичной работы напочвенных канатных дорог установлено, что основными сдерживающими факторами их производительной работы в условиях интенсификации горных работ является несостоятельность действующей системы обеспечения технической безопасности применяемого оборудования и методов прогноза нештатных (критических) ситуаций, возникающих в экстремальных горнотехнических условиях при проведении и эксплуатации участковых подготовительных выработок.

Для решения указанной проблемы предложено усовершенствовать действующую систему управления штатными ситуациями при транспортировании грузов напочвенными канатными дорогами, которая бы учитывала динамику перехода работоспособного состояния узлов напочвенной канатной дороги в неработоспособное, т.е. в нештатное, способствуя таким образом повышению надежности транспортно-технологической системы на определенном этапе ее функциональной работы.

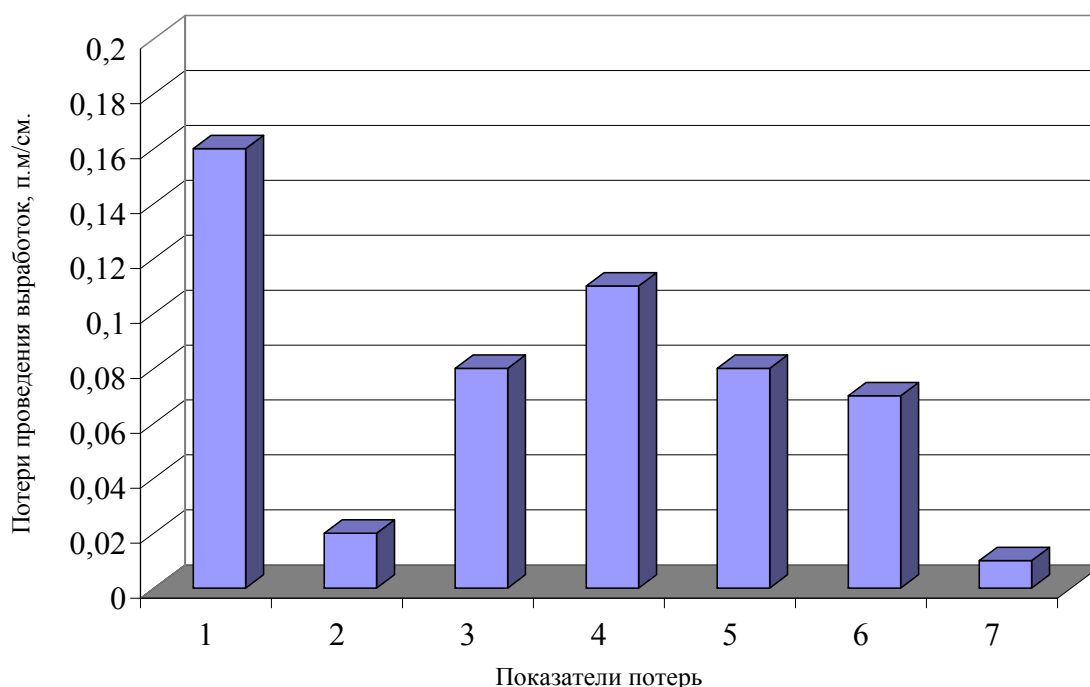
В комплексе мероприятий, обеспечивающих эксплуатационную надежность ДКН, большую роль играет автоматическая защита от случайных или преднамеренных перегрузок предохранительными устройствами, работающими в стерегущем режиме и вступающими в действие при перегрузке базовых элементов напочвенной канатной дороги [1, 2, 3].

Для создания системы оперативного управления нештатными и критическими ситуациями была разработана структурно-логическая схема исследований эксплуатационных параметров ДКН, направленная на выявление фактов перехода работоспособного состояния узлов напочвенной канатной дороги в неработоспособное на основе прогнозирования их эксплуатационной надежности. Такой подход обусловлен тем, что установить единый критерий эксплуатационной надежности напочвенной канатной дороги, работающей в сложных, постоянно изменяющихся горногеологических условиях весьма затруднительно. В этой связи объектом настоящего исследования являются процессы взаимодействия во времени и пространстве подсистем транспортно-технологической системы «подвижной состав – тяговый канат – шкив трения» при транспортировке грузов в выработках, искривленных в профиле и плане.

Предметом исследования являются параметры взаимодействия элементов ДКН, определяющих динамику системы с замкнутым тяговым органом и надежность работы ее подсистем в условиях неопределенности.

Программой и методикой исследований предусмотрено любую вынужденную остановку напочвенной канатной дороги, продолжительностью более одной минуты, рассматривать как отказ – т.е. как нештатную ситуацию при которой нарушается работоспособность объекта и его производительная работа. Предлагается также надежность работы узлов ДКН характеризовать частотой отказов, степенью их тяжести и длительностью работ, необходимых для устранения отказов.

Для формирования базы данных о специфике работы ДКН в штатных, переходных и нештатных режимах была выполнена комплексная оценка причин снижения производительной работы технологических схем комбайнового проведения выработок с использованием напочвенных канатных дорог в участковых подготовительных выработках и локомотивной откатки грузов в магистральных. Структура среднесменных показателей потерь производительной работы подготовительного забоя по вине транспорта приведена на рис 2.



1 – ожидание порожняка; 2 – аварии на участке внутришахтного транспорта; 3 – аварии забойного оборудования; 4 – аварии на транспорте участка; 5 – организационные причины; 6 – другие работы; 7 – аварии на участке конвейерного транспорта.

Рис. 2. Структура среднесменных показателей потерь производительной работы подготовительного забоя по вине транспорта

Среднесменные темпы комбайнового проведения в наблюдаемых подготовительных забоях ОАО «Павлоградуголь» составили 1,6 п.м, потери времени при этом были 130,4 мин/см, а средние потери проведения одного проходческого забоя – 0,53 м/см.

Объем среднесменных потерь определялся индивидуально для каждого исследуемого забоя с учетом фактического объема проведения с одного цикла

(метров проведения на одну раму крепи) и технологического времени выполнения одного цикла.

$$V_{\text{ном}} = T_{\text{ном}} \cdot \frac{V_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ м / раму},$$

где  $T_{\text{пот}}$  – потери времени, мин;  $V_{\text{ц}}$  – фактический объем проведения выработки с одного цикла, м/раму;  $T_{\text{ц}}$  – фактическое технологическое время выполнения одного цикла, мин.

В технологическое время одного цикла в подготовительном забое вошло время выполнения таких технологических операций как: разрушение забоя комбайном (машинное время); установка крепи (с учетом времени доставки материалов на расстояние не более 50 м); технологическое время обмена вагонов, не совмещенное с временем крепления, а также другие операции, не совмещенное с разрушением и креплением забоя (дробление крупногабаритных кусков породы, маневры комбайна, наращивание рельсового пути, вентиляционного става, зачистка выработки). Позиция 4 (рис. 2) – «аварии на транспорте участка» отражает показатели потерь производительной работы подготовительного забоя в связи с отказами в системе ДКН и длительностью работ, необходимых для устранения дефектов и неисправностей в ее узлах. Результаты экспертной оценки показателей потерь на транспорте участка (рис. 2) подтвердили, что более 85% случаев остановки подготовительного забоя связаны с отсутствием возможности оператора прогнозировать отказы в системе «подвижной состав – тяговый канат – шкив трения» и управлять ими в условиях неопределенности.

Таким образом, приведенные на гистограмме (рис. 2) показатели послужили основанием для проведения дальнейших исследований по совершенствованию системы управления нештатными режимами работы ДКН и формирования базы данных по прогнозированию отказов в условиях изменяющейся горногеологической и транспортнотехнической неопределенности.

#### Список литературы

1. Расцветаев В.А., Посуныко Л.Н., Ширин А.Л. Комплексная оценка транспортно-технологических схем комбайнового проведения подготовительных выработок в условиях шахт Западного Донбасса. Дятленко М.Г.// Материалы V международной научно-практической конференции “Проблемы горного дела и экологии горного производства” (14-15 мая 2010 г., г. Антрацит). - С. 41 – 48.
2. Посуныко Л.М. Обґрунтування параметрів транспортно-технологічних схем проведення дільничих виробок при розширенні меж шахтних полів// Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – 15 с.
3. А.Л.Ширин, Л.Н.Посуныко, Е.В.Пискунова. Социально-экономические особенности формирования модели закрытия угольных шахт, дорабатывающих промышленные запасы. Геотехническая механика: Межвед.сб.науч.работ/ ИГТМ НАН Украины.- Днепропетровск, 2006.- Вип.62.- С.65-71.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 01.06.11*

## УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ ВНУТРИМЕЛЬНИЧНОЙ ЗАГРУЗКИ БАРАБАННЫХ МЕЛЬНИЦ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЯ ХЕРСТА АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

Предложен метод управления объемным заполнением барабанных мельниц с использованием значений показателя Херста акустического сигнала.

Запропоновано метод управління об'ємним заповненням барабаних млинів з використанням значень показника Херста акустичного сигналу.

Proposed a method for controlling volume filling rattler from the values of Hurst exponent of acoustic signal.

**Введение.** Измельчительные агрегаты широко применяют в различных отраслях промышленности: черной и цветной металлургии, химии, цементной, строительной, энергетике. Большое количество разновидностей систем автоматического управления процессом измельчения, известных в настоящее время, обусловлено как сложностью взаимосвязей между входными, промежуточными и выходными переменными процесса, так и разнообразием технологических схем и условий измельчения [1]. Контроль параметров барабанных мельниц по сигналам, сопутствующим их функционированию, позволяет оценить функциональное состояние объекта управления и предупредить развитие аварийной ситуации. Такими сигналами являются акустические и энергетические сигналы мельницы, по которым можно судить об эффективности и скорости измельчения материала.

**Анализ существующих достижений и публикаций.** Для управления уровнем внутримельничной загрузки часто используются методы, основанные на применении ортогональных преобразований, которые при соответствующем выборе базисной системы обеспечивают адекватность анализируемой информации при высокой степени декорреляции информативных компонент [2].

Операция нахождения дискретного спектра  $Y$  цифровыми методами может быть представлена в виде матричного произведения

$$Y = \frac{1}{N} H_n X, \quad (1)$$

где  $X$  – вектор анализируемой реализации размерности  $N$ ,  $H_n$  – квадратная матрица спектрального оператора размерности  $N \times N$ .

Число строк матрицы спектрального оператора  $H_n$  равно количеству базисных функций, участвующих в разложении, а элементы строки представляют собой дискретные значения одной из базисных функций в моменты дискретизации.

При решении задачи классификации случайных сигналов по спектральным признакам для случая многих классов используются системы собственных

функций соответствующих каждому классу. При этом информативными признаками считаются коэффициенты разложения Карунена-Лоэва [3]. Однако разложение Карунена-Лоэва в общем случае не обладает алгоритмом быстрого преобразования, что не позволяет использовать при решении задач оперативного контроля параметров и управления.

При решении задач контроля и управления с помощью традиционных ортогональных преобразований возникают определенные трудности при распознавании состояния некоторых объектов, определения причин, вызывающих отклонение параметров и появление неисправностей. Это обусловлено тем, что функционирование объектов разных типов сопровождается процессами различной физической природы. Использование для контроля параметров методов, не учитывающих особенности этих процессов, не позволяет формировать информативные признаки диагностических сигналов.

Основным недостатком Фурье-преобразования является его "глобальная" чувствительность к "локальным" скачкам и пикам функции [3]. При этом модификация коэффициентов Фурье (например, подавление высоких гармоник с целью фильтрации шума) вносит одинаковые изменения в поведение сигнала на всей области определения. Это особенность оказывается полезной для стационарных сигналов, свойства которых в целом мало меняются со временем. При исследовании нестационарных сигналов требуется использование некоторых локализованных во времени компактных волн, коэффициенты разложения по которым сохраняют информацию о дрейфе параметров аппроксимируемой функции. Попытки построения таких систем функций сводились к сегментированию сигнала на фрагменты ("окна") с применением разложения Фурье для этих фрагментов.

Однако оконные преобразования позволяют проанализировать либо высокие частоты в коротком окне времени, либо низкочастотную компоненту, но не оба колебания одновременно. В результате был предложен подход, в котором для различных диапазонов частот использовались временные окна различной длительности. Оконные функции получались в результате растяжения-сжатия и смещения по времени какой-либо одной базисной функции. Эти базисные функции называются вейвлетами.

Непрерывное вейвлет-преобразование определяется как:

$$W_{a,b} = \int_{-\infty}^{\infty} \Psi_{a,b}(t) f(t) dt \quad (2)$$

Это выражение представляет собой свертку сигнала  $f(t)$  с функцией  $\Psi_{a,b}$  переводящую сигнал из временной в вейвлет-область с базисными функциями:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (3)$$

где  $a$  и  $b$  представляют растяжения и сдвиги одной функции (материнской вейвлет). Параметр  $a$  называют параметром масштаба, а параметр  $b$  параметром сдвига. Вейвлет-преобразование не уникально в смысле возможности выбора



различных материнских вейвлетов. Однако материнский вейвлет должен обладать конечной энергией и ограниченной полосой частот.

Вейвлет-преобразования отличаются высокой степенью локализованности базисных функций как во временной, так и в частотной областях, что позволяет применять их для обработки широкого класса процессов, в том числе и нестационарных. Применение вейвлет-анализа для диагностики перегрузки шаровых мельниц рудой рассмотрено в [4,5]. Однако определение объемного заполнения мельницы при плавном изменении уровня загрузки с помощью вейвлет преобразования не всегда обеспечивает необходимую точность.

Поэтому возникает необходимость создания методов контроля уровня внутримельничной загрузки барабанных мельниц, позволяющих получить более точное определение параметров объектов управления.

**Формулировка цели и задачи исследований.** Целью работы является разработка метода управления уровнем внутримельничной загрузки барабанных мельниц на основе использования, показателя Херста акустического сигнала, сопровождающего функционирование мельницы и обеспечивающего более эффективную диагностику перегрузки мельницы рудой по сравнению с известными методами.

**Изложение основного материала исследований.** Системы автоматического управления, стабилизирующие уровень внутримельничной загрузки измельченным материалом, занимают особое место при автоматизации процессов помола. Для управления по уровню внутримельничной загрузки используют системы автоматического управления, контролирующие оптимальное значение внутримельничного заполнения по акустическому (звукометрическому) сигналу, издаваемому мельницей. Этот метод измерения объемной загрузки мельницы основан на наличии корреляционной связи между параметрами загрузки мельницы технологическими компонентами (исходным сырьем, мелящими телами, водой, возвратным продуктом) и уровнем ее шумового поля (по вибрационному и акустическому компоненту).

При повышении частоты вращения барабана до так называемой критической наступает момент, когда центробежные силы уравниваются силами тяжести мелющих тел. В этом случае измельчение руды практически прекращается, шары не отрываются от внутренней поверхности барабана, а вращаются вместе с ней.

В зависимости от частоты вращения барабана в мельнице создаются различные режимы измельчения (рис. 1). Если частота вращения барабана составляет приблизительно  $0,8n$  от критической, создается водопадный режим измельчения, когда основная масса шаров поднимается вместе с внутренней поверхностью вращающегося барабана на некоторую высоту, а затем свободно падает под действием сил тяжести по траекториям, близким к параболическим. Измельчение рудных зерен в данных условиях происходит преимущественно ударом. Водопадный режим характеризует режим работы мельниц первой стадии измельчения.

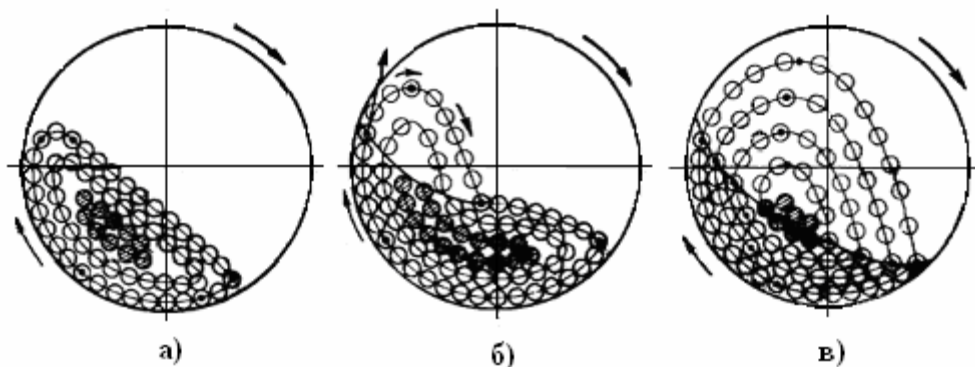


Рис.1. Схема движения мелющих тел в барабане мельнице  
 а – каскадный режим; б – смешанный режим; в – водопадный режим.

При скорости вращения барабана, составляющей  $0,7n$  от критической, возникает смешанный режим измельчения, который характеризуется тем, что часть шаров участвует в свободном полете, а остальные перекатываются внутри барабана по замкнутым траекториям. Смешанный скоростной режим используется обычно при мокром измельчении руд в шаровых мельницах.

При каскадном режиме скорость вращения барабана составляет  $0,5n$  от критической. При измельчении в каскадном режиме отсутствует свободный полет мелющих тел, которые циркулируют внутри барабана. Шары поднимаются по круговым траекториям на некоторую высоту, а затем скатываются под углом, близким к углу естественного откоса. При каскадном режиме руда измельчается путем истирания.

На рис. 2. представлена схема расположения датчика устройства контроля загрузки мельниц рудой по звукометрическому сигналу, издаваемому мельницей, где  $L$  – длина мельницы,  $G$  – вес рудно-шаровой загрузки мельницы,  $C$  – центр тяжести рудно-шаровой загрузки мельницы,  $\theta$  – угол отклонения центра тяжести от вертикальной оси симметрии барабана мельницы,  $\Delta H$  – перепад уровня пульпы в загрузке и разгрузке мельницы,  $\delta$  – ширина зоны излучения звуковой энергии,  $D$  – акустический датчик,  $BK$  – ширина зоны излучения звука в месте установки датчика,  $M$  – расчетная излучающая область поверхности барабана мельницы, на которую настраивается акустический датчик. Площадь поверхности этой зоны  $S$  является величиной переменной вдоль длины мельницы  $L$ , так как заполнение мельницы рудой вдоль длины мельницы неравномерное и представлено кривой  $AC$ . Акустический датчик  $D$  должен быть настроен на область максимального излучения звуковой энергии  $M$ , которая находится внутри исходной зоны излучения  $S_1 \approx l_1 \delta_1$ .

Однако из-за колебаний свойств исходной руды часто происходит перегрузка мельниц рудой, в результате чего мельницы останавливаются и разгружаются. Возникает простой технологических линий обогащения и недовыпуск концентрата примерно на 10..15 % от общего объема производства.

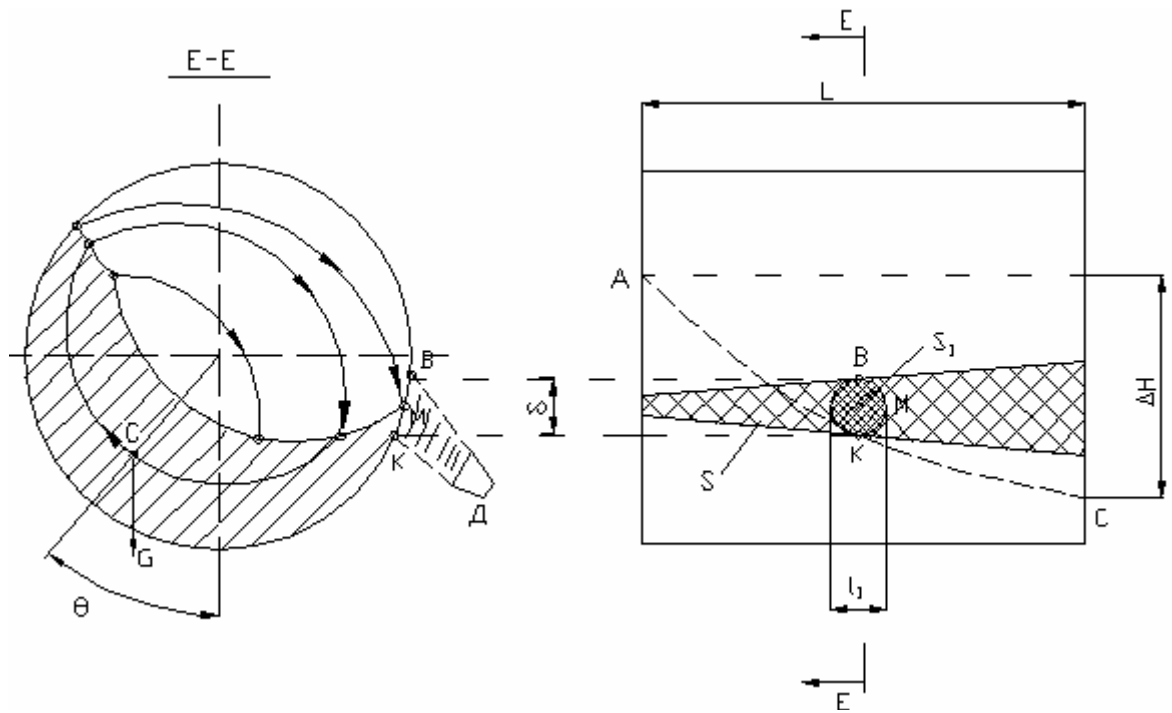


Рис. 2. Схема установки акустического датчика загрузки

Определение такого параметра как внутримельничная загрузка во многом сводится к классификации акустического сигнала мельницы. При этом сложность классификации заключается в том, что этот акустический сигнал является нестационарным. Использование традиционных методов, не позволяет с требуемой точностью классифицировать акустические сигналы, сопровождающие процесс измельчения. Поэтому целесообразно исследовать метод анализа акустического шума мельницы с использованием показателя Хёрста [6]. Процедура определения показателя Хёрста состоит из нескольких этапов. Вначале для случайного вектора  $\mathbf{X} = [x_1, x_2, \dots, x_N]$ , представляющего временной ряд определяется среднее значение  $M$

$$M = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k, \quad (4)$$

далее определяется дисперсия  $S^2$

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_k - M)^2, \quad (5)$$

и интегральное отклонение  $D_j$

$$D_j = \sum_{k=1}^N x_k - jM, \quad (6)$$

где  $N$  – размерность вектора  $\mathbf{X}$ ,  $j=1..N$ .

Изменчивость случайного процесса  $R_N$  на интервале  $N$  определяется как неубывающая функция длины интервала

$$R_N = \max_{1 < j < N} D_j - \min_{1 < j < N} x D_j. \quad (7)$$

Херстом было показано, что для большинства естественных процессов при больших значениях  $N$  выполняется соотношение

$$\frac{R}{S} \approx (aN)^H, \text{ или } \log \left( \frac{R}{S} \right) \approx H \log(aN) \quad (8)$$

где  $R/S$  – нормированный размах от накопленного среднего,  $N$  – число наблюдений,  $a$  – некоторая константа,  $H$  – показатель Херста.

На рис.3 представлены модели акустических сигналов для различных режимов внутримельничной загрузки мельницы.

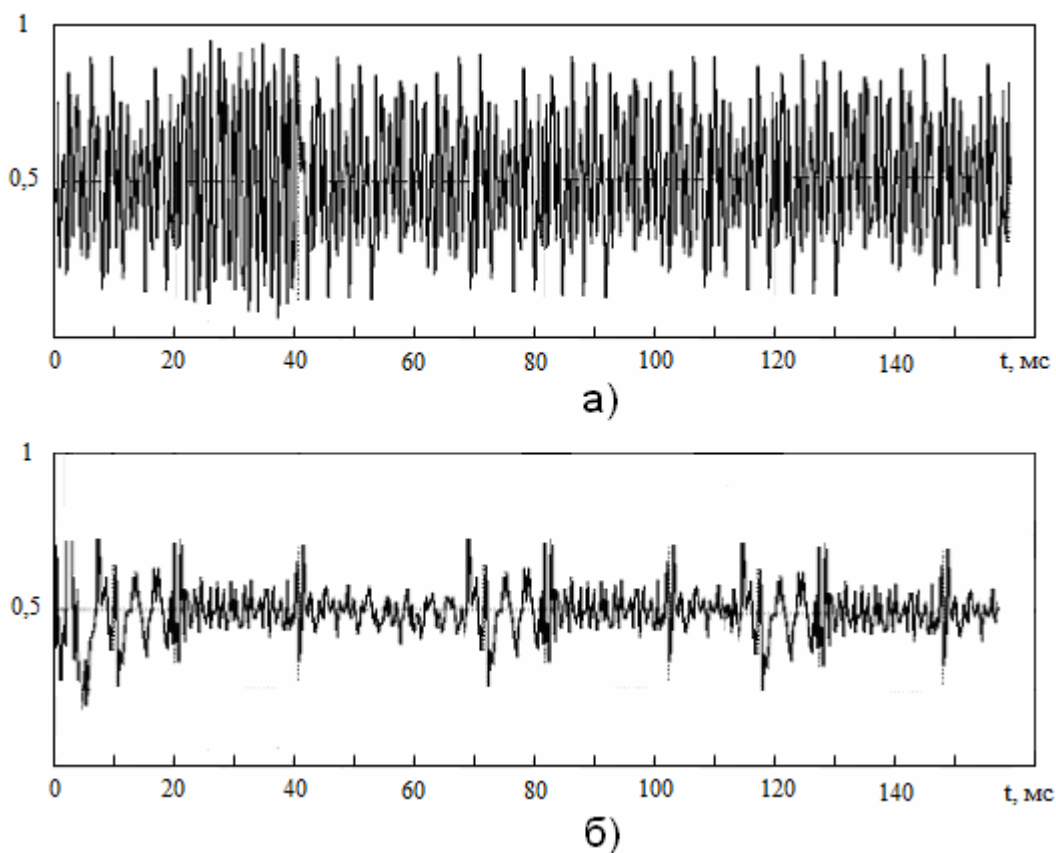


Рис.3. Моделирование акустического шума мельницы  
а – нормальный режим; б – режим перегрузки.

Классификационные свойства показателя Херста определяются тем, что его значения изменяются для различных видов случайных процессов. Процессы, для которых  $0 < H < 0.5$ , называются антиперсистентными и для них характерна знакопеременная тенденция в сочетании с относительно высоким уровнем зашумленности. Процессы, для которых  $0.5 < H < 1$ , называются персистентными и для них характерно сохранение наблюдаемой тенденции в сочетании с относительно низким уровнем зашумленности. При  $H=0.5$  имеют место процессы, в которых тренд отсутствует. Для сигнала на рис.3а показатель Херста  $H=0.325$ , для сигнала на рис.3б показатель Херста  $H=0.682$ .

Как видно из вышесказанного показатель Хёрста целесообразно использовать для классификации нестационарных сигналов с целью определения уровня внутримельничной загрузки барабанной мельницы.

#### **Выводы.**

1. Предложенный подход для контроля и управления уровнем загрузки барабанной мельницы с использованием показателя Херста акустического сигнала обеспечивает управление показателями измельчения. Это позволяет более продуктивно использовать установленное оборудование измельчения. Следствием уменьшения времени простоя мельницы является повышение ритмичности ее работы, более полное использование трудовых ресурсов, производственных фондов.

2. Продолжение исследований целесообразно проводить в направлении исследования эффективности различных методов вычисления показателя Херста с целью управления уровнем внутримельничной загрузки мельниц.

#### Список литературы

1. Воронов В.А. Многоуровневая оптимизация процессов обогащения / В.А. Воронов. – М.: Недра, 1991. – 154 с.
2. Марюта А.Н. Зависимости энергетических параметров электродвигателя шаровой мельницы от загрузки ее шарами и измельчаемым материалом / А.Н. Марюта, Е.В. Кочура // Известия ВУЗов. Горный журнал. – 1973. – №2. – С. 23–28.
3. Солодовников А.И. Основы теории и методы спектральной обработки информации [Текст]: учеб. пособие / А.И. Солодовников, А.М. Спиваковский. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1986. – 272 с.
4. Алексеев М.А. Применение вейвлет-анализа при решении задач функционального контроля промышленных объектов / М.А. Алексеев, Х. Шамаллах // Науковий вісник НГУ. – 2004. – №2. – С. 77–78.
5. Алексеев М.А. Метод звукометрической диагностики перегрузки шаровых мельниц рудой. Збагачення корисних копалин / М.А. Алексеев, Х. Шамаллах // Наук.-техн.зб. – 2005. – Вып. 22 (63). – С. 166 – 168.
6. Федер Е. Фракталы [Текст] / Е. Федер – М.: Мир, 1991. – 254 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 621.365.5

© Н.С. Дрешпак

## **ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ ІНДУКЦІЙНОГО НАГРІВУ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

Предложена методика расчета контактной тепловой проводимости соединений деталей машин. Выполнен анализ характера протекания теплового процесса.

Запропонована методика розрахунку контактної теплової провідності з'єднань деталей машин. Виконано аналіз характеру протікання теплового процесу.

The method of thermal contact productivity of machine details connections calculating is proposed. The analysis of a thermal process character is made.

Електротехнологія індукційного нагріву з'єднань циліндричних деталей, здійснених посадкою з натягом, має ряд особливостей [1]. Вони полягають у тому, що в процесі демонтажу з'єднань відбувається температурна деформація втулки, що призводить до її розширення і забезпечує безперешкодне знімання з валу. Таким чином, індукційний нагрів супроводжується протіканням взаємозв'язаних електромагнітних, теплових процесів та температурної деформації. В [2,3] показано, що ефективно протікання процесу демонтажу з'єднань відбувається при рівномірному розташуванні джерел тепла на поверхні втулки. У зв'язку з цим в [1] розглянуті електромагнітні процеси, що характеризуються одновимірним магнітним полем. Це стосується також теплових процесів, де характер їх протікання вздовж втулки вважається незмінним [3]. Контактна теплова провідність  $\alpha_e$ , що існує між втулкою і валом, при нагріванні втулки змінюється. При значному натягу посадки  $\alpha_e$  максимальна, а по мірі нагріву спостерігається її суттєве зменшення. Технологічна операція завершується при наявності повітряного проміжку між втулкою і валом. Характер зміни  $\alpha_e$  в процесі нагріву втулки невідомий. Тому необхідно встановити залежність  $\alpha_e(\Delta T)$ . Тут  $\Delta T$  - різниця температур в зоні контакту втулки з валом.

Мета статті полягає у встановленні залежності  $\alpha_e(\Delta T)$ , розрахунку характеру протікання теплового процесу у втулці із застосування розроблених в [1,3] математичних моделей для аналізу електромагнітних та теплових процесів.

У зв'язку з тим, що виникають труднощі теоретичного визначення теплової провідності в зоні контакту деталей, запропоновано здійснювати цей процес експериментально. В [2] запропонована методика визначення ідентифікованого значення контактної теплової провідності  $\alpha_{e3}$ . Загальний підхід до встановлення залежності  $\alpha_e(\Delta T)$  полягає у тому, що в цю залежність введено розрахункові значення  $\alpha_e$ , що відповідають різним станам з'єднання деталей (від максимального натягу посадки, до наявності повітряного проміжку між ними). Проміжні значення залежності  $\alpha_e(\Delta T)$  отримані шляхом інтерполяції. Зрозуміло, що такий підхід не претендує на високу точність при визначенні  $\alpha_e(\Delta T)$ . Тому отримані нижче розрахункові залежності, що відтворюють характер протікання теплового процесу, претендують на розкриття тільки якісної картини процесу.

Будемо виходити із того, що конкретне значення  $\alpha_e$  визначається виходячи із ряду введених нижче припущень. Вважаємо зону сполучення втулки і валу такою, що має товщину  $N_\delta$ , яка відповідає натягу з'єднання, а також такою, що містить однорідний матеріал із теплопровідністю  $\lambda_3$ . Тоді коефіцієнт  $\alpha_e$  при  $\Delta T = T_0 - T_c = 0$  ( $T_c$  - температура валу,  $T_0$  - температура внутрішньої поверхні втулки) дорівнює

$$\alpha_{\epsilon_3} = \lambda_3 / N_\delta. \quad (1)$$

Розширення втулки приводить до формування в зоні натягу повітряного прошарку. Тому прийнято, що в момент ліквідації натягу  $\lambda$  досягає значення теплопровідності повітря  $\lambda_n$ . Відповідно в цей момент значення  $\alpha_\epsilon$  дорівнює:

$$\alpha_{\epsilon n} = \lambda_n / N_\delta. \quad (2)$$

Так як характер залежності  $\alpha_\epsilon(\Delta T)$  невідомий, але різниця температур  $\Delta T$  порівняно невелика, можливе застосування лінеаризації залежностей. Тоді при відомих значеннях  $\alpha_{\epsilon_3}$  і  $\alpha_{\epsilon n}$  отримаємо

$$\alpha_\epsilon = \alpha_{\epsilon_3} - \frac{\alpha_{\epsilon_3} - \alpha_{\epsilon n}}{\Delta T_n} \Delta T, \quad (3)$$

де  $\Delta T_n$  – різниця температур, при якій забезпечується ліквідація натягу посадки.

Залежність (3) справедлива в діапазоні зміни різниці температур  $0 < \Delta T < \Delta T_n$ . Після ліквідації натягу посадки, коли  $\Delta T_T > \Delta T > \Delta T_n$  відстань між валом і втулкою з ростом  $\Delta T$  збільшується ( $\Delta T_T$  – різниця температур, що забезпечує наявність повітряного зазору  $S$ , необхідного для демонтажу з'єднання). Це призводить до продовження зменшення  $\alpha_\epsilon$  від значення  $\alpha_{\epsilon n}$ , що відповідає моменту ліквідації натягу посадки, до значення  $\alpha_{\epsilon p}$ , зумовленого наявністю повітряного зазору  $S$ , який дозволяє без перешкод зняти втулку з валу. Очевидно, що

$$\alpha_{\epsilon p} = \frac{\lambda_n}{N_\delta + S}. \quad (4)$$

В цьому проміжку протікання теплового процесу будемо вважати, що  $\alpha_\epsilon$  змінюється лінійно, а залежність  $\alpha_\epsilon(\Delta T)$  має вигляд:

$$\alpha_\epsilon = \alpha_{\epsilon n} + \frac{\alpha_{\epsilon p} - \alpha_{\epsilon n}}{\Delta T_n - \Delta T_T} (\Delta T_n - \Delta T). \quad (5)$$

Важливо те, що значення  $\alpha_{\epsilon n}$  та  $\alpha_{\epsilon p}$  можуть бути визначені, виходячи із розмірів повітряного проміжку між втулкою і валом. Слід також урахувати, що значення  $N_\delta$  та  $S$  залежать від діаметру з'єднання. Якісний характер залежності  $\alpha_\epsilon(\Delta T)$  з урахуванням прийнятих припущень показано на рис.1.

Аналізуючи отримані залежності (1) та (4), можна прийти до висновку, що  $\alpha_{\epsilon_3} > \alpha_{\epsilon p}$ , тому що  $\lambda_3 > \lambda_n$ . Це підтверджується також результатами експериментальних досліджень.

Урахування залежності  $\alpha_\epsilon(\Delta T)$  при аналізі теплового процесу дозволяє наблизитись до реальної картини зміни температури в перетині втулки. Для моделювання теплового процесу в математичну модель уведено залежності  $\alpha_\epsilon(\Delta T)$  у відповідності із (3) та (5).

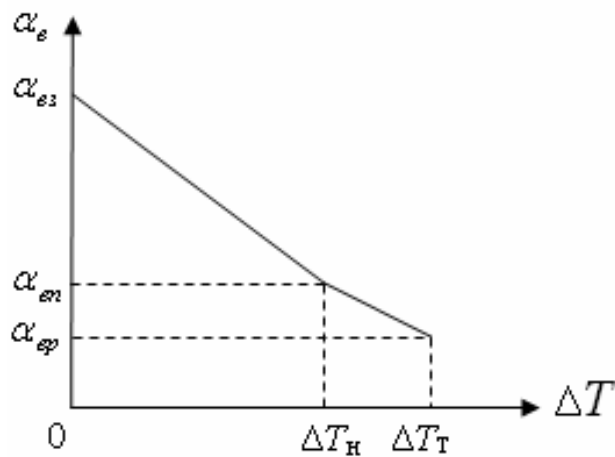


Рис. 1. Якісний характер залежності  $\alpha_e(\Delta T)$

Залежності (3) та (5) ілюструють лінійний характер зміни  $\alpha_e$  в процесі збільшення  $\Delta T$ . При цьому залежність (3) використовується до виконання умови  $\Delta T = \Delta T_T$ , а (5) застосовується при більших значеннях  $\Delta T$  ( $\Delta T_H < \Delta T \leq \Delta T_T$ ). Рис.2 ілюструє розподілення температур в поперечному перетині втулки з урахуванням залежності  $\alpha_e(\Delta T)$ , зумовленої розширенням втулки. Розрахунок виконано для частоти струму індуктора  $f = 1000$  Гц та незмінного значення питомої поверхневої електричної потужності  $P_0$ , характерною для проведених експериментальних досліджень.

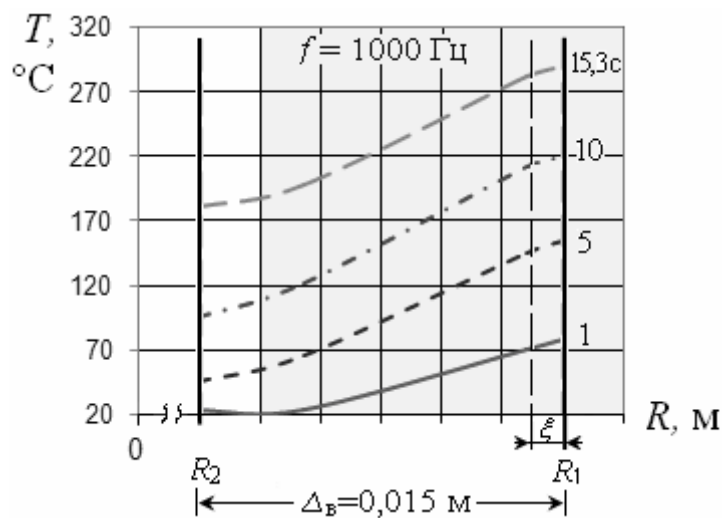


Рис. 2. Розподілення температур з урахуванням залежності  $\alpha_e(\Delta T)$   
 ( $\Delta_B$  – товщина втулки,  $R_1, R_2$  – зовнішній та внутрішній радіуси втулки,  
 $\zeta$  – зона дії вихрового струму)

Видно, що зменшення теплової контактної провідності  $\alpha_e$  у процесі нагріву втулки суттєво змінює характер розподілення температури у її перетині. Спостерігається вирівнювання температури в зоні, близькій до внутрішньої по-



верхні. Необхідне значення  $\Delta T = \Delta T_T$  досягається при незначних витратах часу (15,3 с) та порівняно малих значеннях температури зовнішньої поверхні втулки. Це також підтверджує той факт, що нагрів при розрахунковому значенні  $P_0$  призводить до виникнення необхідного для демонтажу з'єднання температурного режиму ( $\Delta T = \Delta T_T$ ) у перехідному режимі нагрівання. Температурна деформація втулки (її розширення) сприяє швидкому росту різниці температур  $\Delta T$ , що в свою чергу призводить до прискорення деформації. Інтерес представляє залежність  $\Delta T(t)$  з урахуванням зв'язку  $\alpha_e(\Delta T)$  (рис.3). Збільшення часу нагріву супроводжується підвищенням швидкості зростання  $\Delta T$ , що зумовлено наявністю залежності  $\alpha_e(\Delta T)$ . Таким чином, залежність  $\Delta T(t)$  стає нелінійною. Гальмування росту  $\Delta T$  на початковому етапі нагріву пояснюється порівняно великим значенням  $\alpha_e$ , що відповідає тісному контакту між втулкою і валом (наявності значного натягу посадки).

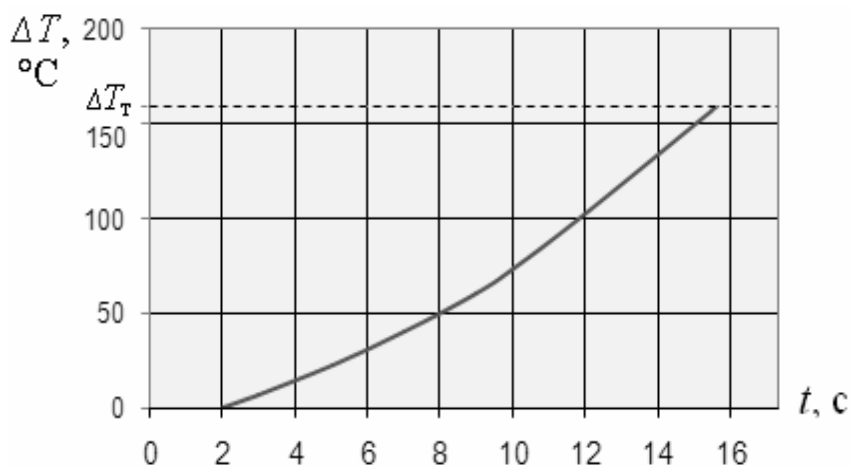


Рис. 3. Залежність  $\Delta T(t)$  при зміні  $\alpha_e$  у процесі нагрівання втулки

Очевидно, що товщина втулки  $\Delta_e$  також впливає на характер розвитку теплового процесу. Необхідно визначити, якою мірою  $\Delta_e$  змінює тривалість циклу нагріву  $t_u$  до необхідного значення різниці температур  $\Delta T_T$ . На рис. 4 наведено таку залежність. Прийнято, що  $f = 10000$  Гц, а  $\alpha_e$  залежить від  $\Delta T$ . Розрахунок здійснено для різних рівнів потужності ( $P_0, 2P_0, 3P_0$ ).

Видно, що при зменшенні товщини втулки  $\Delta_e$ , тривалість циклу нагріву  $t_u$  зменшується. При цьому збільшення питомої поверхневої потужності  $P_0$  призводить до більш суттєвого зменшення  $t_u$ . Зменшення товщини втулки  $\Delta_e$  сприяє більш швидкому підвищенню температури внутрішньої поверхні втулки за рахунок її теплопровідності. Теплопровідність сталі пояснює також причину зменшення  $t_u$  при збільшенні  $P_0$ .

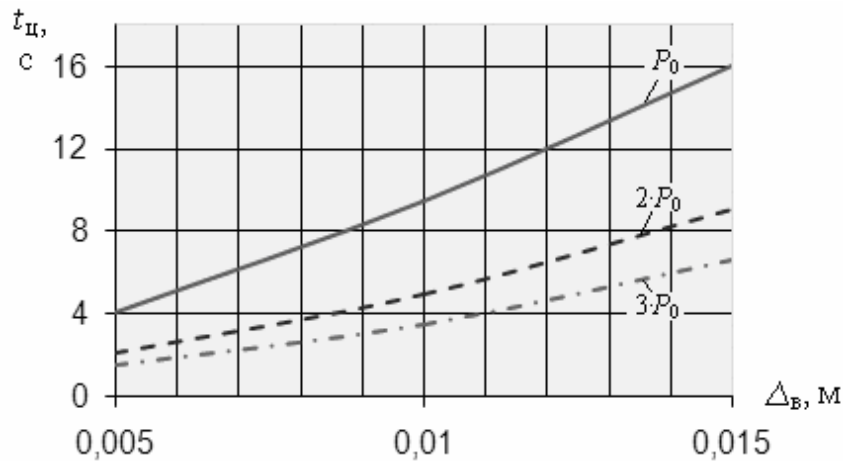


Рис. 4. Залежність  $t_u(\Delta_e)$  при різних рівнях питомої поверхневої потужності

Особливість розробленої математичної моделі для аналізу теплових процесів полягає у тому, що існує можливість моделювання дії імпульсного струму, що протікає в індукторі [3]. Це досягається завдяки періодичному формуванню часових інтервалів з діючими на поверхні втулки джерелами тепла, а також при їх відсутності (з паузою струму індуктора). Так, джерела тепла діють на інтервалі  $t_c$  і їхня дія не проявляється на інтервалі  $t_n$ . При частотно-імпульсному регулюванні різнополярні імпульси присутні на інтервалі  $t_c$ . При цьому тривалість імпульсної дії струму (і відповідна тривалість дії джерел тепла)  $t_c$  не змінюється. На інтервалі  $t_c$  значення питомої поверхневої потужності також залишається незмінним. У процесі регулювання змінюється інтервал паузи струму  $t_n$ . 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 між втулкою і валом  $\Delta T$ . Рис. 5 ілюструє таку залежність у випадку, коли на інтервалі  $t_c$  значення питомої поверхневої потужності дорівнює  $P_0$ . При цьому частота імпульсного синусоїдального струму  $f = 2400$  Гц, а товщина втулки  $\Delta_e = 0,015$  м. Теплова контактна провідність  $\alpha_e$  змінюється в залежності від рівня  $\Delta T$  (формули (3) та (5)).

Із рисунка 5 видно, що при підвищенні частоти слідування синусоїдальних імпульсів струму ( $f_{np} = \frac{1}{t_{np}}$ ) швидкість наростання  $\Delta T$  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.

Підсумовуючи результати досліджень, слід підкреслити їх важливість з точки зору визначення впливу електромагнітних параметрів на теплові процеси, що призводять до демонтажу з'єднання.

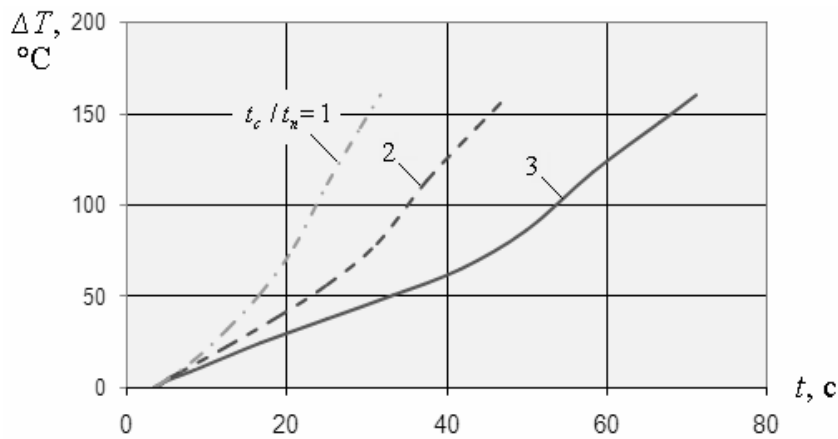


Рис. 5. Залежність  $\Delta T(t)$  при імпульсному струмі індуктора

### ВИСНОВКИ

1. При зменшенні теплової контактної провідності  $\alpha_e$  в процесі нагріву втулки спостерігається вирівнювання температури в зоні, близькій до її внутрішньої поверхні. Необхідні для демонтажу з'єднання температурні параметри досягаються з незначними витратами часу, а також при порівняно малих значеннях температури зовнішньої поверхні втулки.

2. Збільшення часу нагріву з'єднання деталей супроводжується підвищенням швидкості зростання  $\Delta T$ , що зумовлено наявністю залежності  $\alpha_e(\Delta T)$ . Гальмування росту  $\Delta T$  на початковому етапі нагріву пояснюється порівняно великим значенням  $\alpha_e$ , що відповідає наявності значного натягу посадки.

3. При зменшенні товщини втулки  $\Delta_e$  тривалість циклу нагріву  $t_{\text{ц}}$  зменшується. Збільшення питомої поверхневої потужності  $P_0$  призводить до більш суттєвого зменшення  $t_{\text{ц}}$ . Характер цих залежностей є наслідком дії теплопровідності в сталі.

4. Збільшення частоти слідування синусоїдальних імпульсів струму в індукторі  $f_{\text{нр}}$  підвищує швидкість росту різниці температур між втулкою і валом  $\Delta T$ , що свідчить про можливість управління температурним режимом нагріву шляхом зміни  $f_{\text{нр}}$ .

### Список літератури

1. Випанасенко Н.С. Параметри електромагнітного поля установки індукційного нагріву циліндричних з'єднань [Текст]/ Н.С. Випанасенко// Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2008. – Вип. 30. – С. 217–223.
2. Випанасенко Н.С. Определение удельной поверхностной мощности индукционного нагрева соединений деталей, выполненных посадкой с натягом [Текст]/ Н.С. Випанасенко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2008. – Вип. 18., ч.2. – С. 131–136.
3. Випанасенко Н.С. Математична модель для аналізу теплових процесів індукційного нагрівання циліндричних з'єднань сталевих деталей [Текст]/ Н.С. Випанасенко // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2009. – Вип. 2. – С. 60–65.

Рекомендовано до публікації д.т.н. Випасенком С.І.  
Надійшла до редакції 18.03.11

© М.Д. Кошовий, О.М. Костенко, В.А. Дергачов, О.Л. Бурлесєв, О.С. Чуйко

## ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНІВ ЕКСПЕРИМЕНТУ ЗА ЧАСОВИМИ І ВАРТІСНИМИ ВИТРАТАМИ

Розглянута методологія оптимального планування експериментів, що включає комплекс методів оптимізації планів експерименту та програмно-апаратні засоби для їх реалізації. Описані функціональні можливості розроблених програмних засобів. Програмне забезпечення апробовано на ряді реальних і модельних прикладах, видані рекомендації по його застосуванню.

Рассмотрена методология оптимального планирования экспериментов, которая включает в себя комплекс методов оптимизации планов эксперимента и программно-аппаратные средства для их реализации. Описаны функциональные возможности разработанных программных средств. Программное обеспечение апробировано на ряде реальных и модельных примеров, выданы рекомендации по его использованию.

The methodology of the optimum experiment planning, which comprises complex of methods of experiment plan optimization and program hardware for their realization, was considered. The functional possibilities of made software programs were described. Software was approved on row real and model examples, recommendations of its use were issued.

**Вступ.** При вирішенні задач оптимізації та керування різними об'єктами виникає проблема одержання математичних моделей вказаних об'єктів. При цьому доцільно отримувати моделі при мінімальних вартісних і часових витратах. Відомі пакети прикладних програм, наприклад Statistika, Matcad та інші, не враховують вартісні та часові витрати на реалізацію синтезованого плану експерименту. Авторами розроблено ряд алгоритмів і програм, що реалізують оптимізацію по вартісним і часовим витратам планів експерименту з використанням наступних методів: аналіз перестановок рядків матриці планування [1], випадковій пошук [1], гілок і меж [2,3], послідовних наближень. Виконано порівняльний аналіз цих методів оптимізації планів багатofакторного експерименту. Розроблені алгоритми і програми використовуються окремо для вирішення задач оптимізації двохрівневих і композиційних планів багатofакторного експерименту. В зв'язку з цим необхідна взаємоув'язка розроблених програмних засобів в програмному комплексі з оптимального планування експерименту.

**Мета статті.** Для підвищення ефективності експериментування й моделювання складних технологічних і технічних об'єктів необхідно розробити методологію оптимального за вартісними і часовими витратами планування експерименту, яка буде включати комплекс методів ефективного експериментування, комплекс програмних засобів, що реалізують ці методи, а також системи та пристрої для синтезу й реалізації оптимальних планів експерименту. При цьому комплекс програмних систем повинен включати в собі: програмні засоби ітераційного та послідовного оптимального за вартісними й часовими витратами планування експерименту, програмну систему оптимального за вартісними і часовими витратами планування експерименту для динамічних об'єктів, а та-

кож програми оптимізації планів експерименту з використанням раніше перерахованих методів.

Розроблену методологію необхідно випробувати при дослідженні ряду технологічних процесів, приладів і систем.

**Основні матеріали дослідження.** На рис. 1 наведена методологія оптимального планування експериментів, яка включає в собі комплекс методів синтезу оптимальних за вартісними і часовими витратами планів, комплекс програмних систем та системи й пристрої для синтезу та реалізації оптимальних планів експерименту.

Для синтезу начальних планів експерименту застосовуються наступні методи: ітераційного, послідовного та планування експерименту для динамічних об'єктів.

При цьому метод ітераційного оптимального за вартісними й часовими витратами планування експерименту доцільно застосовувати для об'єктів з кількістю суттєвих факторів  $K \leq 4$ , метод послідовного оптимального за вартісними й часовими витратами планування експерименту – для об'єктів з кількістю таких факторів  $K > 4$ . Для дослідження динамічних об'єктів використовується метод оптимального за вартісними й часовими витратами планування експерименту, який є модифікацією ітераційного планування експерименту щодо статичних об'єктів. З метою реалізації запропонованих методів розроблено комплекс програмних систем, що містить програмні засоби ітераційного та послідовного планування експерименту, а також програмну систему оптимального планування експерименту для динамічних об'єктів.

Для подальшої оптимізації планів експерименту за часовими та вартісними витратами використовуються наступні методи: аналіз перестановок рядків матриці планування експерименту, випадковий пошук, гілок і меж, послідовних наближень. З метою реалізації цих методів оптимізації розроблені наступні програми пошуку оптимальних планів: багатфакторного експерименту (БФЕ); БФЕ з заданими обмеженнями; багаторівневих комбінаторних планів БФЕ; БФЕ методом гілок і меж, багаторівневих комбінаторних планів БФЕ методом гілок і меж; БФЕ методом гілок і меж з введенням обмеження на додатковий критерій; композиційних планів методом гілок і меж (двохпараметрична оптимізація); багаторівневих планів БФЕ методом послідовних наближень.

Розглянемо функціональні можливості розроблених програм.

**Програма** пошуку оптимальних планів багатфакторного експерименту дозволяє методами аналізу перестановок рядків матриці планування експерименту або випадкового пошуку оптимізувати двохрівневі плани експерименту за вартісними або часовими витратами на його реалізацію (свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №29920 від 17.08.2009 р.).

**Програма** пошуку оптимальних планів БФЕ з заданими обмеженнями дозволяє методами аналізу перестановок рядків матриці планування експерименту або випадкового пошуку оптимізувати за вартісними або часовими витратами на експеримент двохрівневі плани у випадку присутності обмежень на перестановку окремих рядків матриці планування (свідоцтво №29921 від 17.08.2009 р.).

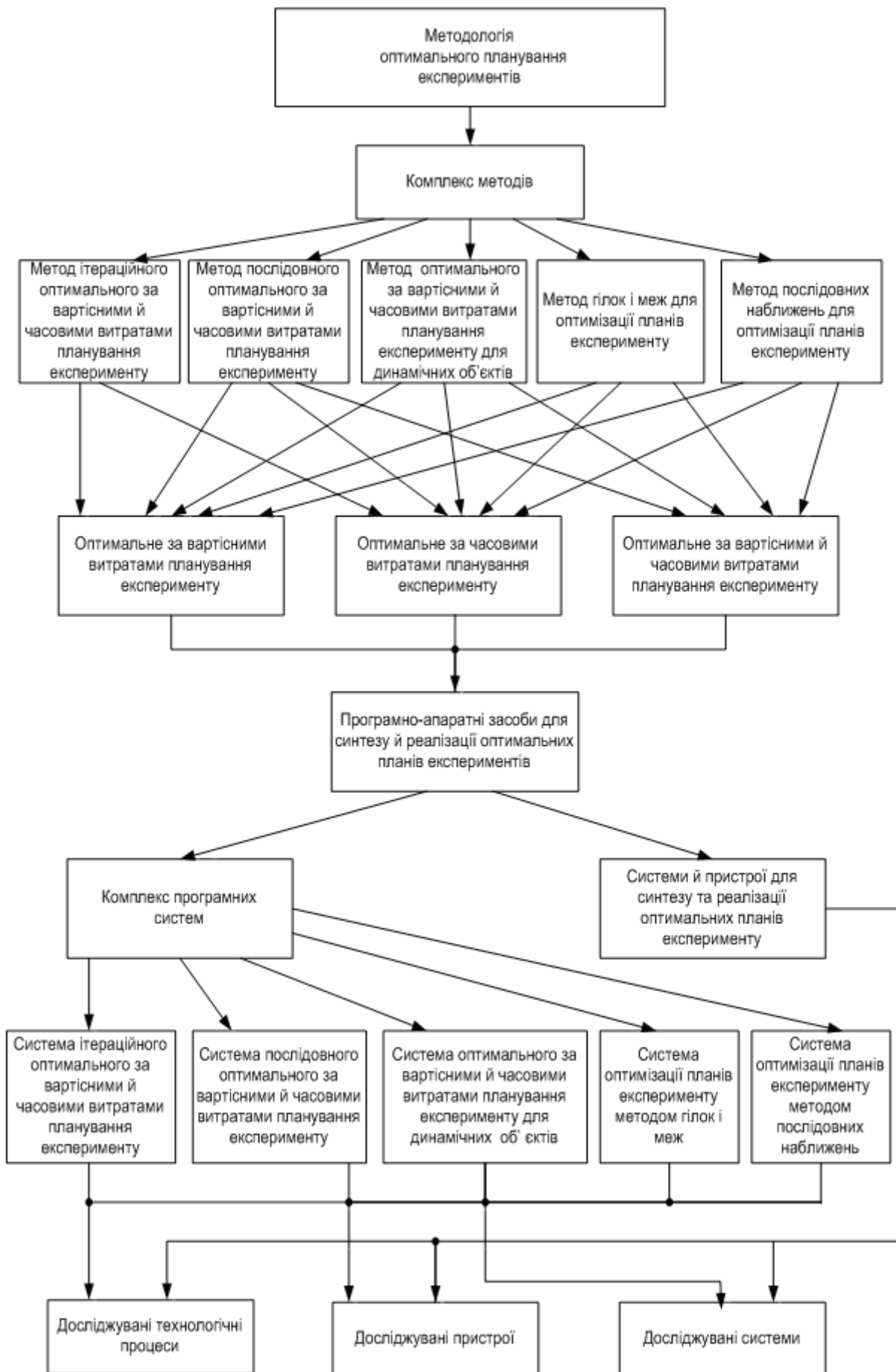


Рис. 1. Методологія оптимального планування експериментів

**Програма** пошуку оптимальних багаторівневих комбінаторних планів БФЕ дозволяє методами аналізу перестановок рядків матриці планування експерименту або випадкового пошуку оптимізувати багаторівневі комбінаторні плани багатофакторного експерименту за вартісними або часовими витратами на його реалізацію (свідоцтво №31824 від 28.01.2010 р.).

**Програма** пошуку оптимальних планів БФЕ методом гілок і меж дозволяє указаним методом оптимізувати за вартісними або часовими витратами двохрівневі плани експерименту

**Програма** пошуку оптимальних багаторівневих комбінаторних планів БФЕ дозволяє методом гілок і меж оптимізувати композиційні плани експерименту за часовими або вартісними затратами на його реалізацію.

**Програма** пошуку оптимальних планів БФЕ дозволяє методом гілок і меж оптимізувати за вартісними або часовими витратами двохрівневі плани у випадку, коли один із критеріїв використовується як обмеження.

**Програма** двохпараметричної оптимізації дозволяє оптимізувати методом гілок і меж композиційні плани за вартісними і часовими витратами на реалізацію експеримента.

**Програма** пошуку оптимальних багаторівневих планів БФЕ дозволяє методом послідовних наближень оптимізувати композиційні плани експерименту за вартісними або часовими витратами на його реалізацію.

Розроблене програмне забезпечення реалізовано мовами програмування TURBO PASCAL і DELPHI, побудовано за модульним принципом і допускає гнучку адаптацію для вирішення більш широкого класу задач.

Спілкування користувача і ЕОМ відбувається в діалоговому режимі, ініціатором якого виступає ЕОМ. На запити необхідно ввести відповідну інформацію: імена файлів вхідних даних і результату, вид пошуку, його глибину й інші параметри залежно від програми, що використовується.

У процесі роботи програм на дисплеї відображається кількість проаналізованих варіантів та екстремальні значення вартості серед розглянутої множини варіантів. При завершенні роботи формується вихідний файл, у який записується інформація про вхідні дані, матриці планування для мінімального й максимальних за вартістю реалізації варіантів, час розрахунку та інше.

Розроблене спеціальне програмне забезпечення дозволяє автоматизувати процес вирішення задачі, скоротити терміни розроблення оптимальних за вартістю планів, підвищити вірогідність одержуваних результатів, скоротити час і зменшити вартість експерименту.

Розроблене програмне забезпечення апробовано на ряді реальних і модельних прикладах, що наведені в таблиці 1.

В результаті проведеного дослідження програмного забезпечення встановлено, що застосування методології оптимального планування дає вигоду у вартості або часі реалізації експерименту в 1,14 – 7,4 рази. Для об'єктів з кількістю факторів  $K \leq 3$  для оптимізації планів доцільно застосовувати аналіз перестановок рядків матриці планування експерименту. У випадку, коли  $K > 3$  доцільно застосовувати метод гілок і меж або метод послідовних наближень, інколи хороші результати дає метод випадкового пошуку.

Таблиця 1

Результати дослідження програмного забезпечення на ряді реальних та модельних прикладів

Об'єкт дослідження		План експерименту	Кількість факторів K та дослідів N	Метод оптимізації	Виграш у вартості або часі, разів				
Т	Процес калібровки вологомірів	ПФЕ	K=2; N=4	Аналіз перестановок	Вартість 1,14				
	Процес гальванічного міднення печатних плат	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перестановок Випадковий пошук	Вартість 1,5 1,9				
Н	Процес вимірювання площі металізації печатних плат	ДФЕ	K=4; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,5				
Л	Виробництво напівпровідникових приладів: процес ультразвукового різання пластин; процес сплавлення кристалів; процес травлення	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,6				
						ДФЕ	K=4; N=8	Аналіз перестановок	1,4
І	Процес штампування корпусу катера	ДФЕ	K=5; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,5				
П	Процес виготовлення армованих деталей	ДФЕ	K=4; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 2,21				
	Процес випробування радіоелектронного пристрою: етап 1 етап 2	Плакетта-Бермана	K=7; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 3,37 3,24				
Ц	Робота оператора радіолокаційної станції: режими роботи; стійка працездатність	РЦКП	K=5; N=32	Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	Час 3,8 3,95				
						ДФЕ	K=5; N=16	Аналіз перестановок Випадковий пошук	1,64 7,40
И	Робота оператора радіоелектронної станції	РЦКП	K=5; N=32	Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	Час 1,67 1,73				



Продовження табл. 1

Об'єкт дослідження	План експерименту	Кількість факторів К та дослідів N	Метод оптимізації	Виграш у вартості або часі, разів	
Обслуговування станків з числовим програмним керуванням: режими роботи; продуктивність ділянки цеху	РЦКП	K=5; N=32	Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	Час 1,36 1,38	
	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук	1,17 1,00	
	Процес глибокого плазмохімічного травлення	ПФЕ	K=3; N=8	Гілок і меж: T <sub>обм</sub> =150 хв	Вартість 1,28
	Процес отримання пористих матеріалів	ОЦКП	K=4; N=25	Гілок і меж	Вартість 5,47 Час 7,33
	Процес приготування фаршу	ПФЕ	K=2; N=4	Аналіз перестановок	Вартість 2,57
Процес приготування попкорну	ДФЕ	K=5; N=18	Послідовне наближення Аналіз перест. Випадк.пошук	Вартість 3,36 1,37 2,26	
П Р И Л А Д И	Безконтактні вимірювачі постійних струмів: живлення 9 В; живлення 5 В	ПФЕ	K=2; N=4	Аналіз перестановок	Вартість 1,33 1,34
	Вихорострумкові вимірювачі товщини діелектричних покриттів	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук Ітерац.планув.	Вартість 1,81 2,01 1,78
	Пристрій для контролю якості діелектричних матеріалів	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук Ітерац.планув. Гілок і меж	Вартість 1,2 1,0 2,13 1,44
	Фотоелектричні перетворювачі кутових переміщень: розміщення світловодів; вихідні параметри	ПФЕ ОЦКП	K=3; N=8 K=3; N=15	Аналіз перест. Гілок і меж	Вартість 1,3 1,67
	Вимірювачі вологості сипких матеріалів	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 4,65
	Напівпровідниковий терморегулятор	ПФЕ	K=4; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук	Вартість 1,5 2,48
		добудова до РЦКП РЦКП	K=4; N=15 K=4; N=31	Аналіз перест. Випадк.пошук Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	1,99 2,31 3,05 4,19

Об'єкт дослідження		План експерименту	Кількість факторів K та дослідів N	Метод оптимізації	Виграш у вартості або часі, разів
С И С Т Е М И	Ваговимірвальна система	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,61
	Система для визначення витрати палива у ДВЗ	ПФЕ	K=2; N=4	Аналіз перестановок	Вартість 1,2–1,3
	Агрегат судової енергетичної установки	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 1,5
	Комплекс технічних систем: технічне обслуговування;	РЦКП	K=4; N=31	Гілок і меж: алгоритм 1; алгоритм 2	Час 1,5
					1,55
	простої системи	ДФЕ	K=5; N=16	Аналіз перест. Випадк.пошук	1,35 2,85
Слідкуюча система	ПФЕ	K=3; N=8	Аналіз перестановок	Вартість 3,78	

**Висновки.** Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що розроблена методологія оптимального планування експерименту, яка дозволяє зменшити вартісні й часові затрати на проведення експериментальних досліджень. Теоретична значимість результатів полягає в тому, що розроблену методологію можна застосовувати для різноманітних об'єктів, які дозволяють проведення на них активних експериментів. Практична значимість роботи полягає в тому, що розроблено комплекс програм для оптимізації планів експерименту за вартісними і часовими витратами. Ефективність і працездатність програмного забезпечення перевірена при дослідженні ряду реальних і модельних прикладів дослідження різноманітних об'єктів.

#### Список літератури

1. Кошовий М.Д. Оптимальне планування при дослідженні технологічних процесів, приладів і систем / М.Д. Кошовий, О.М. Костенко, О.В. Заболотний та ін. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2010.– 161с.
2. Кошевой Н.Д. Применение метода ветвей и границ для оптимизации многофакторных планов эксперимента / Н.Д. Кошевой, О.Л. Бурлеев, Е.М. Костенко // Радиоэлектронні і комп'ютерні системи. – 2010.– №1(42). – С.67-70.
3. Кошевой Н.Д. Оптимальное планирование эксперимента с введением ограничения по дополнительному критерию / Н.Д. Кошевой, О.Л. Бурлеев, Е.М. Костенко // Вісник Сумського державного університету. – 2010.–№3. –Т.2. –С.63-67.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

## ПРОГНОЗУВАННЯ ФОРМУВАННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ ВІД ЗНАЧЕННЯ ВХІДНОЇ НАПРУГИ

Проведений аналіз залежності формування амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) двигуна у залежності від негативних впливів на вхідне значення напруги. Запропоновані підходи щодо подальшого аналізу та обробки отриманої АЧХ двигуна.

Проведен анализ зависимости формирования амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) двигателя в зависимости от негативных воздействий на входное значение напряжения. Предложены подходы относительно дальнейшего анализа и обработки полученной АЧХ двигателя.

The analysis of dependence of formation of the amplitude-frequency characteristic (AFC) of the engine depending on the negative impacts on the input voltage. An approach for further analysis and processing of the received response engine.

**Постановка проблеми.** Своєчасна діагностика електротехнічного обладнання, зокрема електродвигунів, є актуальним питанням в умовах сучасних підприємств. Найперспективнішим методом перевірки технічного стану обладнання є спектр-струменевий аналіз [1], в основі якого є аналіз АЧХ електродвигунів. Але, так як у сучасних умовах характеристики вхідної напруги не є ідеальними, а саме весь час зустрічаються просадки (15-20%) та скачки (15-20%) напруги [2], які можуть істотно видозмінювати АЧХ двигуна. Саме тому автори вважають перспективною тему досліджень аналіз впливу вхідних характеристик напруги на АЧХ двигуна при використанні апарата нейромереж.

**Аналіз публікацій за темою дослідження.** На сьогоднішній день найпоширенішими методами оцінки технічного стану електродвигунів є вібраційний, спектр-струменевий та моделюючий [2]. На думку авторів, найбільш оптимальним є другий метод, який дозволяє без безпосереднього під'єднання до обладнання вимірювати його характеристики [3]. Задачі ідентифікації та діагностики електродвигунів, які вирішуються при спектр-струменевому методі, відносяться до задач класифікації. Одним з найпоширеніших засобів класифікації даних є апарат нейронних мереж.

Сучасні електронні пристрої, наприклад, ЕОМ, контролери, тощо, які можуть оброблювати великі об'єми даних, досить чутливі до просадок та скачків електроенергії, що може привести до втрати важливих для підприємства даних, або неправильного сприймання об'єктивної інформації, наприклад, справжнього значення напруги та струму [4], а у випадку спектр-струменевого методу, видозміна вхідної напруги може значно вплинути на результуючий АЧХ.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної статті є аналіз впливу просадок та скачків напруги на формування амплітудно-частотної характеристики при спектр-струменевому аналізі електрообладнання. У якості енергоспоживачів обрати електродвигуни постійного струму потужністю до 100 Вт з робочи-

ми напругами 5В, а уякості прогноуючих моделей проаналзувати: нейромережеві та трендові.

**Основна частина.** Скачки напруги (підвищення та просадка) є актуальною проблемою у зв'язку з постійно збільшуваною кількістю електрообладнання. Існує кілька причин підвищення напруги в мережі. Зміна значення напруги в мережі відбувається у зв'язку з тим, що, наприклад, побутове або промислове обладнання при включенні або вимиканні, впливає на мережу, вносячи в неї дисбаланс [5]. Інакше кажучи, електродвигуни можуть впливати на інше електрообладнання та призводити до виходу його з ладу, неправильної роботи тощо.

В основі спектр-струменевої діагностики лежить пряме перетворення Фур'є, в результаті чого отримується АЧХ досліджуваного об'єкта. Отримана АЧХ у подальшому аналізується за допомогою апарата нейронних мереж. У данній статті було використано багат шаровий песептрон з кількістю шарів 5. У процесі досліджень АЧХ двигунів було помічено, що дані характеристики видозмінюються при коливаннях вхідних значень напруги.

У якості дослідних зразків було обрано два двигуни потужністю 100Вт та робочою напругою 5 В. При тестуванні досліджувалася залежність амплітудно-частотної характеристики двигунів від вхідної напруги: від найменшого до номінального значень. Залежність значень максимального значення частоти від вхідної напруги представлено на рис.1.

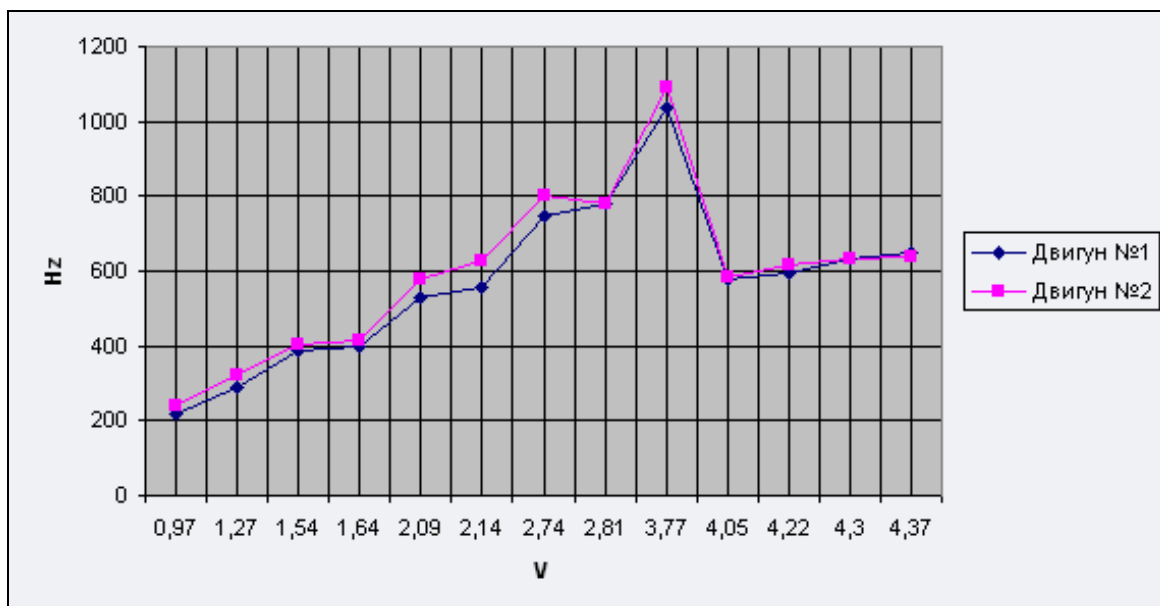


Рис.1. Залежність максимального значення частоти від вхідної напруги

Отже, як видно з графіку, прослідковується деяка залежність. На основі отриманих результатів було побудовано трендові залежності [6] представлені на рис.2-3 для двигунів № 1 та №2 відповідно.. Як видно з графіків, лінія трендів є логарифмічною, а коефіцієнт достовірності апроксимації в обох випадках становить 0.5322 – 0.588, що у свою чергу є поганим показником прогнозування, і може призвести до значних похибок при майбутньому аналізі АЧХ, відповідно до значень вхідної напруги.

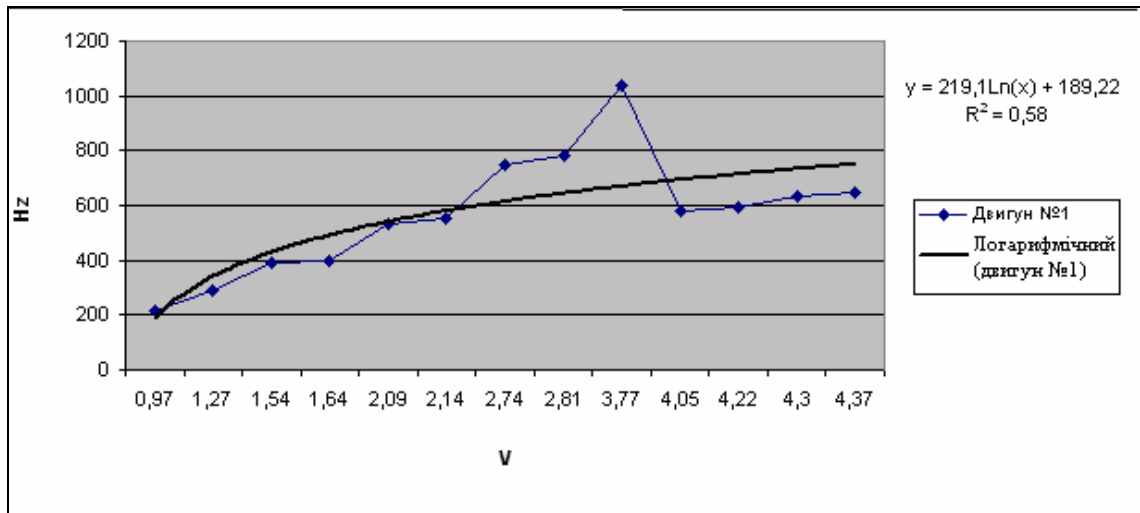


Рис.2. Побудова тренду для двигуна №1

Іншим досить поширеним засобом прогнозування часових рядів є використання апарату нейромерж. При створенні нейромережевої моделі було використано багат шаровий перцептрон, з кількістю прихованих шарів 5. Графік залежності вхідного вихідного значення від цільового приведено на рис.4.

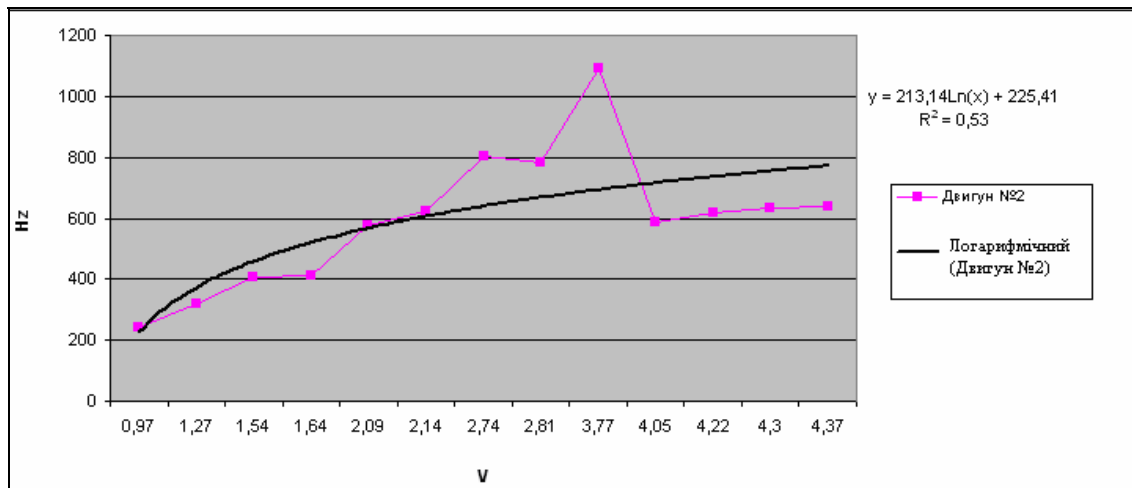


Рис. 3. Побудова тренду для двигуна №2

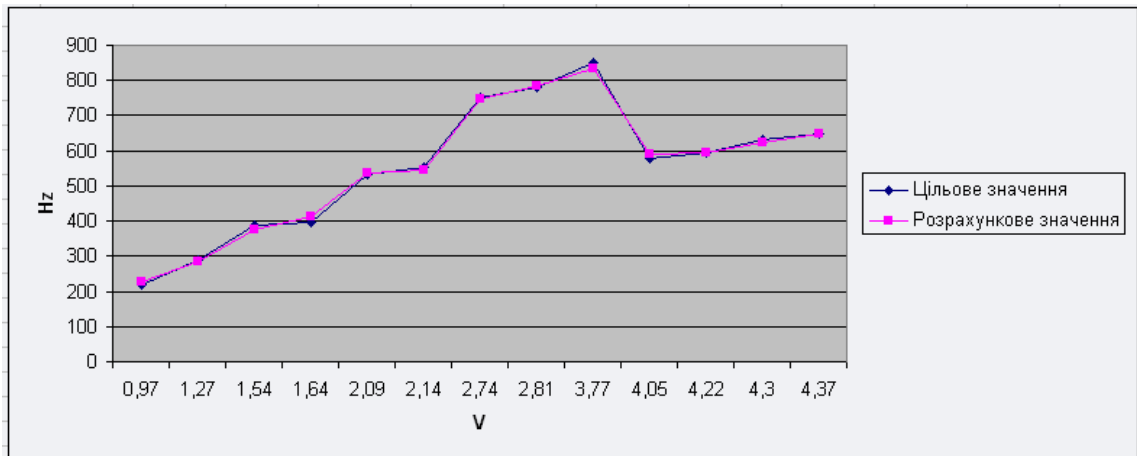


Рис. 4. Результат тестування нейромережі

Отже, як видно з графіку, середнє відхилення від ідеального лежить в межах від 1% до 1,5 %, що складає 2-4 Hz.

**Висновки та перспективи подальших досліджень** На основі отриманих результатів досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Моніторинг енергоспоживання електрообладнання є актуальним та проблемним питанням на сучасних підприємствах, житлово-комунальній сфері тощо.
2. Скачки напруги можуть істотно впливати на формування АЧХ двигуна, і тому важливе значення має прогнозування отримання АЧХ при незначних скачках вхідного значення напруги.
3. При вирішенні задачі ідентифікації найкращим варіантом при прогнозуванні значення частоти, є використання апарата нейромереж.

#### Список літератури

1. Діагностика стану електродвигунів на основі спектрального аналізу спожитого току [Електронний ресурс] / Петухов В.С., Соколов В.А. // "Новости Электротехники" – 2005. - № 1(31). - С. 23. – Режим доступу до журн.: <http://news.elteh.ru/arh/2008/49/10.php>
2. Кравченко В.М. Техническое диагностирование механического оборудования / В.М. Кравченко, В.А. Сидоров.-Донецьк, 2006.- 287 с.
3. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – Питер, 2002.-196 с.
4. Проблема качественного электроснабжения [Електронний ресурс]/ Остапенко Д.А. // "Новости Электротехники" – 2007.- Режим доступу до статті: <http://ostapenko.uaprom.net/a12498-problema-kachestvennogo-elektrosnabzheniya.html>
5. Эконометрика [Електронний ресурс]/ Касьянов В.А.// Эконометрика – 2008.- режим доступу до статті: <http://www.scribd.com/doc/52788388/12/Временные-ряды>

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 669.162.24:681.128.8

© В.П. Радченко, В.И. Головки, И.Г. Тригуб

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ 3-Х МЕРНАЯ МОДЕЛЬ ЗАГРУЗКИ ШИХТЫ В ДОМЕННУЮ ПЕЧЬ**

Представлено краткое описание новой 3-х-мерной модели загрузки доменной печи, выполняющей расчет и визуализацию заполнения колошникового пространства порциями шихтового материала с лоткового распределительного устройства с применением непрерывного контроля создаваемого профиля шихты радарным профилемером.

Представлено стислий опис нової 3-х-вимірної моделі завантаження доменної печі, що виконує розрахунок і візуалізацію заповнення колошникового простору порціями шихтового матеріалу з лоткового розподільного пристрою з застосуванням безперервного контролю створюваного профілю шихти радарним профілемером.

A brief description of the new 3-dimensional model of blast furnace. The model calculates and displays the filling of space of blast furnace of the burden material by using of distribution tray. Model performs continuous monitoring of create a profile of the material with radars' help.

## Вступление

Стоимость чугуна является одним из основных факторов стоимости продукции любого сталелитейного производства. В последние годы наблюдается тенденция оптимизации производства с необходимостью сокращения затрат на сырье. Неправильное распределение шихтовых материалов при их загрузке в доменную печь (ДП) приводит к нарушению хода печи и, как следствие, к снижению эффективности и повышению энергозатратности доменной плавки.

На печах разного объема применяют разные виды загрузочных устройств [1]. Известны конусные – наименее эффективные загрузочные устройства. Они в силу своей конструкции ограничивают возможности формирования профиля засыпи. Более эффективными являются бесконусные загрузочные устройства разной конструкции (лотковые, роторные). Несколько лет назад фирма Siemens VAI Technologies (Великобритания) представила новое загрузочное устройство Gimbal Top, более эффективное, гибкое и производительное, в сравнении с уже известными. Загрузка материала становится более точной, быстрой и не повреждающей футеровку печи. Однако эти новации не позволяют оценить сформированный профиль.

## Постановка задачи

Современные системы управления доменной плавкой являются только замкнутыми, то есть системами с обратной связью. Система автоматического управления (САУ) загрузкой ДП также должна соответствовать этому принципу управления. Так как распределение шихтовых материалов на колошнике влечет за собой тот или иной характер газового потока, необходимо не только вырабатывать управляющие воздействия – выполнять программу загрузки для получения заданного (рассчитанного теоретически) профиля, но и контролировать выходное значение – текущее состояние профиля засыпи (рис.1.).

В качестве обратной связи можно использовать только действительно измеренный профиль засыпи. Наиболее полной информацией о распределении шихты обладают пользователи веерного профилемера [2].

Одной из задач ведения технологического процесса является прогнозирование. Своевременно получение данных о течении процесса позволяют рационально влиять на ход доменной плавки путем соответствующего распределения

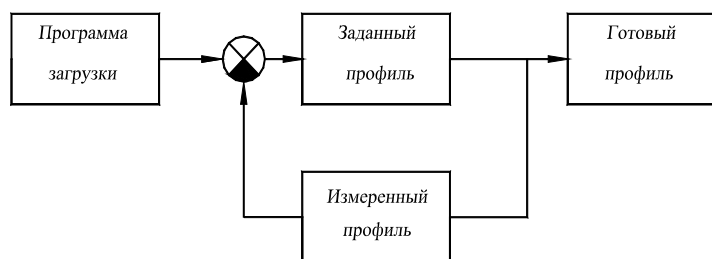


Рис.1. САУ загрузкой ДП

шихтовых материалов, что обеспечивает максимальное использование энергии газовых потоков, проходящих сквозь засыпь шихты. Следующим шагом должно быть предвидение поведения шихтовых материалов на основе текущих и прошлых данных о процессе, в частности, о скорости опускания шихты.

Прогнозирование распределения шихтовых материалов возможно получить с помощью математической модели загрузки ДП.

Математические модели процессов позволяют спрогнозировать и просчитать многие ситуации, возникающие на реальном объекте. Математические модели загрузки и распределения шихты на колошнике ДП широко известны и применяются в той или иной мере на действующих металлургических объектах [1, 3, 4]. Недостатком этих моделей является отсутствие обратной связи.

Загрузка шихтовых материалов основывается на предварительном расчете требуемой рудной нагрузки с учетом текущего состояния профиля и всех показателей доменной плавки. Однако, как показывает анализ работ, посвященных распределению шихты на колошнике, зачастую готовый профиль отличается от прогнозируемого. Причин несколько. Одной из них, на наш взгляд, является отсутствие пространственной (3-D) модели загрузки доменной печи. Такая модель должна учитывать теоретические расчеты для образования требуемого профиля и измеренный профиль, как обратную связь.

**Основная часть.** Компьютерная 3-D модель загрузки шихты в доменную печь, разрабатываемая авторами в настоящее время, состоит из нескольких основных алгоритмов:

- математическая модель загрузки доменной печи – расчет порций загружаемого материала на основе расчета траекторий движения шихты для бесконусного загрузочного устройства лоткового типа в доменной печи [1, 4];
- определение профиля засыпи на колошнике доменной печи по ее математической модели;
- определение высот засыпи в дискретных точках веерным профилемером;
- сравнение данных математической модели загрузки доменной печи и показаний профилемера.

Компьютерная 3-D модель написана на языке программирования высокого уровня системы MATLAB, относящейся к системам компьютерной математики (СКМ).

Целью создания данной 3-D модели было решение существующей задачи объемной визуализации распределения шихтового материала после сыпания его с распределителя загрузочного устройства в ДП.

Загрузка шихтового материала в ДП при использовании БЗУ производится после получения САУ загрузкой сигнала от мехзондов. Сыпучий материал, сыпаясь при свободном истечении на неограниченную вертикальными стенками горизонтальную поверхность, представляет собой конус. При наличии ограничений пространства сыпания конус может видоизменяться. Шихтовый материал, сыпаясь в доменную печь с распределительного лотка, вращающегося со скоростью 7,8 об/мин, подвергается влиянию газового потока, давления, создаваемого в колошниковом пространстве, что влияет на формирование поверхности засыпи. Поскольку эти факторы влияют лишь на геометрические размеры профиля, в модели принята форма сыпающейся с лотка БЗУ порции шихты как коническая.



Геометрические параметры моделируемого единичного конуса можно рассчитать, используя формулы траекторий движения частиц, приведенные в [1] или по другим известным методикам [3]. В модели приняты следующие размеры кругового конуса: радиус  $R = 0,5 \text{ м}$ , высота  $h = 0,75 \text{ м}$  и объем  $V = 0,196 \text{ м}^3$  (рис.2). Эти параметры взяты с учетом величины насыпной массы кокса  $M_{нк} = 0,5 \text{ т} / \text{м}^3$  и коэффициента уминки  $K_{ук} = 0,855$  [5].

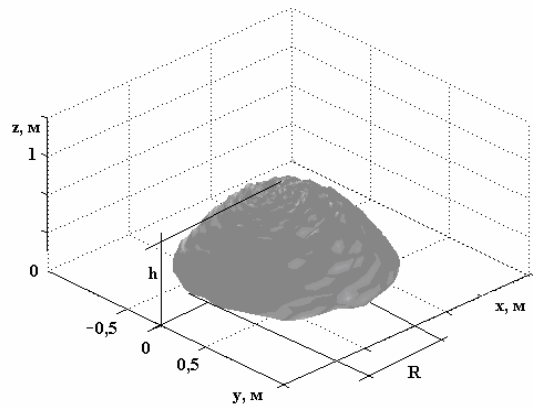


Рис.2. Единичная порция шихтового материала, принятая в модели

Загрузочный лоток вращается, изменяя углы наклона относительно вертикальной оси печи и поворота в горизонтальной плоскости (рис. 3).

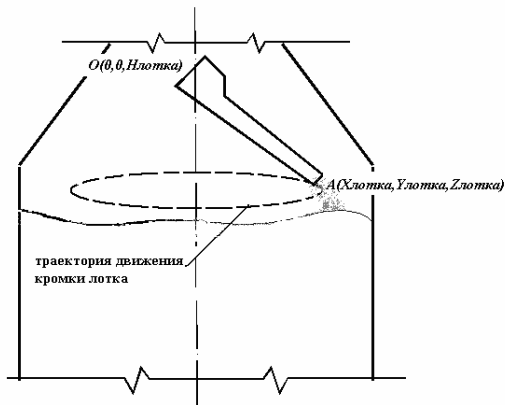


Рис. 3. Движение лотка БЗУ в колошниковом пространстве

Для моделирования работы лотка были составлены уравнения движения лотка. Лоток можно представить линией, проходящей через 2 точки: точку  $O(0,0,H_{лотка})$  и точку  $A(X_{лотка}, Y_{лотка}, Z_{лотка})$  (см. рис.3.). Координата  $H_{лотка}$  точки  $O$  – это отметка точки качания лотка. Так как точка  $O$  неподвижна, положение лотка в текущий момент времени  $t$  будет определяться положением точки  $A$ , координаты которой определяются из следующих соотношений

$$\begin{aligned} X_{лотка,t} &= r_{лотка,t} \cdot \sin(\varphi_t); \\ Y_{лотка,t} &= r_{лотка,t} \cdot \cos(\varphi_t); \\ Z_{лотка,t} &= H_{лотка,t} - h_{лотка,t}; \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\varphi_t$  – угол поворота лотка в плоскости  $XOY$ ;  $r_{лотка,t}$  – длина проекции линии лотка на плоскость  $XOY$ ;  $h_{лотка,t}$  – длина проекции линии лотка на ось  $OZ$ .

Величины  $r_{лотка,t}$ ,  $h_{лотка,t}$  рассчитываются

$$\begin{aligned} r_{лотка,t} &= L_{лотка} \cdot \sin(\varphi_{верт,t}); \\ h_{лотка,t} &= L_{лотка} \cdot \cos(\varphi_{верт,t}); \end{aligned} \quad (2)$$

где  $L_{лотка}$  – длина загрузочного лотка;  $\varphi_{верт,t}$  – угол наклона лотка к вертикальной оси  $OZ$ .

Высота точки качания лотка определяется

$$H_{лотка} = H_{ну} + 2,5 + L_{лотка}, \quad (3)$$

где  $H_{ну}$  – нулевой или технологический уровень в доменной печи, м. Значение 2,5 в (3) – расстояние, обеспечивающее свободное прохождение лотка в гаражном положении.

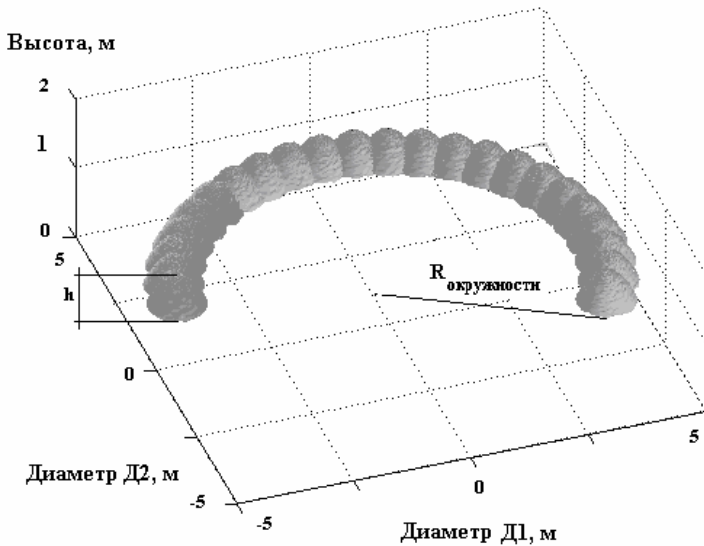


Рис.4. Укладка единичных порций шихтового материала при движении лотка, принятая в модели

При вращении лотка в модели единичные конусы укладываются подряд по окружности, радиус которой  $R_{окружности}$  соотносится с радиусом нижней кромки лотка при его вращении (рис.4) [4]. На каждой окружности создается  $N$  единичных конусов, которые формируют поверхность засыпи на определенном угловом положении лотка. Чем больше значение  $N$ , тем плотнее расположены конусы, что имеет место и в реальности при загрузке шихты.

При совершении лотком полного круга на определенном угловом положении пространство печи заполняется плотно расположенными по окружности единичными конусами

$P = \sum_{i=1}^N K_i$ , где  $K_i$  – единичный конус;

$N$  – количество конусов на окружности каждого углового положения лотка. В модели реализовано движение лотка по 11 угловым положениям (от 50 до 18,5 град от вертикали) [1]. Если лоток проходит последовательно все угловые положения, пространство печи на колошнике полностью заполняется шихтовым материалом

$M = \sum_{j=1}^{11} P_j$  (рис.5). Только в центре по оси печи есть незаполненная конусами шихты область, т.к. выпуск материала в гаражном положении лотка (0 град от вертикали) не происходит в автоматическом режиме. Осевая зона печи заполняется вследствие скатывания шихты по откосам либо при переводе БЗУ в ручное управление.

Профилемер веерного типа представляет собой группы радиолокационных уровнемеров РДУ, установленных на куполе печи, что позволяет непрерывно контролировать поверхность в 20 точках [2].

Для определения высот засыпи с помощью профилемера в модели рассчитаны точки установки отдельных РДУ, входящих в состав веерного профилемера (рис.6).

Из-за конструктивных особенностей свода колошника печи все РДУ не могут быть установлены вертикально, поэтому 8 из 20 РДУ установлены под углами 6, 2 и 28 град от вертикали. Точки установки каждого РДУ по радиусу от оси печи выбраны, исходя из равномерного покрытия радиолучами поверхности засыпи [2].

Загрузка шихтового материала и образование рельефа засыпи в модели рассчитывается по теоретическим формулам [1, 4], тогда как данные от профилемера являются обратной связью, обеспечивающей получение высот засыпи в 20 точках поверхности.

Загрузка шихтового материала в модели может быть реализована как последовательно от 1 до 11 углового положения лотка с выгрузкой шихты на каждой позиции, так и на некоторых из них.

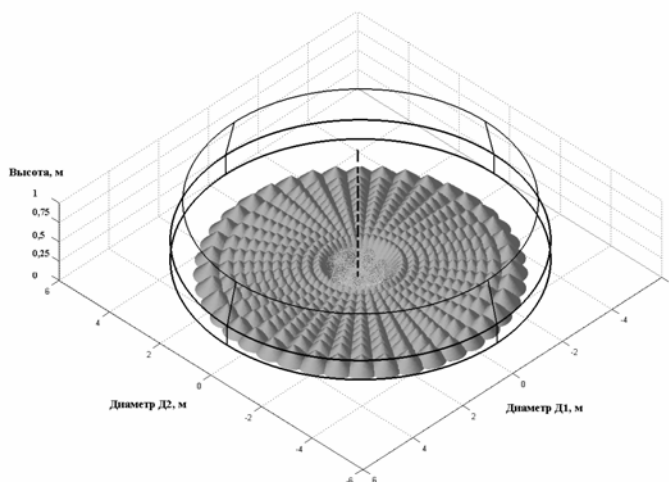


Рис.5. Пространство печи в модели при загрузке шихты на всех угловых положениях лотка

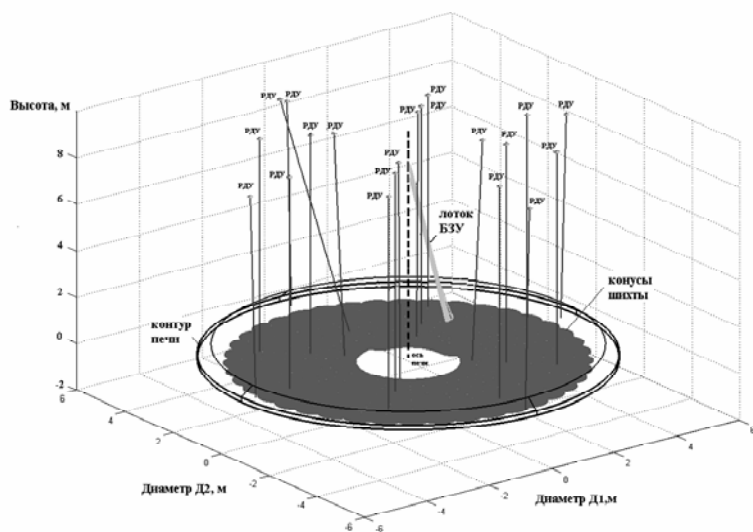


Рис. 6. Направления лучей РДУ профилемера в модели

ми этих высот, можно определить скорость схода материала в точке засыпи

$$V_{cxn} = \frac{H_n(t) - H_n(t_0)}{t - t_0}, \quad (4)$$

где  $n$  – номер РДУ;  $t$  – момент времени определения текущего профиля, с;  $t_0$  – момент времени определения предыдущего профиля, с;  $H_n$  – высота засыпи в точке определения соответствующим РДУ. Вычислив скорость схода,

можно определять толщину слоя, окружную неравномерность и все производные параметры.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Преимуществом 3-мерной модели является возможность получения профилей засыпи в любом диаметральном сечении. Введение в модель данных о скорости схода шихты позволит прогнозировать формирование профиля.

Сравнение профиля засыпи, полученного в модели по теоретическим формулам, и профиля, построенного по 20 дискретным значениям профилемера, позволит ответить на вопрос – достаточно ли полной является информация от профилемера, и есть ли возможность оптимизировать его конструкцию.

В настоящее время авторы заняты совершенствованием модели для реализации любых режимов загрузки шихтовых материалов. Кроме того, ставится задача оптимизации структуры веерного профилемера с целью минимизации количества измерителей в его составе без потери информативности.

#### Список литературы

1. Теория и практика загрузки доменных печей. Большаков В.И. – М.: Metallurgy, 1990. – 256 с.
2. Рельеф поверхности засыпи шихтовых материалов на колошнике доменной печи / В.П. Радченко, О.Н. Кукушкин, В.И. Головкин, И.Г. Тригуб, Н.В. Михайловский // Теория и практика металлургии. – 2008. – №3 (64). – С.5 – 8.
3. Компьютерная система отображения результатов загрузки шихты в доменную печь № 9 комбината «Криворожсталь». А.К. Тараканов, Резвин И.М., Бобровицкий С.В. // Академический вестник, №15-16, 2005. С.20-23
4. Бочка В.В. Повышение эффективности выплавки чугуна на основе новых технологий загрузки и управления ходом доменной печи: дисс. на получение степени доктора техн. наук: 05.16.02 / Бочка Владимир Васильевич. – Днепропетровск, 2000. – 371 с.
5. Пліскановський С.Т., Полтавець В.В. Устаткування та експлуатація доменних печей. Підручник. – Дніпропетровськ: Пороги, 2004. – 495 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 18.05.11*

УДК 681.3:622.276

© Л.О. Бойчук

## **УЗАГАЛЬНЕННЯ І СТРУКТУРИЗАЦІЯ ДАНИХ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПЕРСПЕКТИВНИХ ГЕОТЕРМАЛЬНИХ РОДОВИЩ В УМОВАХ ПРИКАРПАТТЯ**

Розглянуто рівень використання геотермальної енергії у світі. Для опису геотермального покладу запропоновано використати предикатні схеми на категорійному рівні. Це дає можливість зобразити зв'язки для розробки інформаційної системи, а також відмінності між різними об'єктами даної предметної області.

Рассмотрен уровень использования геотермальной энергии в мире. Для описания геотермальных залежей предложено использовать предикатные схемы на категорийном уровне. Это даёт возможность изображать связи для разработки информационной системы, а также различия между разными объектами данной предметной области.

It is considered the use level of geothermal energy in the world. To describe the geothermal deposits is proposed to use the predicate schemes on the category level. It gives an opportunity to represent communications for working out of information system, and also difference between different objects of the given subject domain.

**Вступ.** Відомо, що за потенціалом поновлювальних енергоресурсів Україна випереджає ряд країн Європи, але рівень його використання значно нижчий за середньосвітовий. Доведення норм використання поновлювальних енергоресурсів до європейського рівня повинно стати важливою складовою в реформуванні паливно-енергетичного комплексу України.

Температура ядра Землі складає біля  $5000^{\circ}\text{C}$ . В середньому температура підвищується на  $3^{\circ}\text{C}$  на глибині кожних 100 м. Основним джерелом геотермальної енергії є постійний потік тепла від розжарених надр, спрямований до поверхні землі. Цього тепла достатньо, щоб розплавити гірські породи під земною корою, перетворюючи їх на магму. Якщо підземні води стикаються з теплом, яке виділяє магма – то нагріваються, – інколи до температури  $371^{\circ}\text{C}$ . У деяких місцях, використання цієї енергії навіть у невеликих об'ємах може значно змінити і покращити енергетичний баланс країни.

Геотермальна енергетика перспективніша за решту поновлюваних теплоджерел, якщо не вважати гідроенергії. З-під землі можна вилучити тепло, еквівалентне десяткам мільйонів тонн умовного палива. Запаси геотермальних вод розсіяні по всій території країни. Всього доступно для експлуатації понад 20 мільйонів кубометрів кип'ятку в добу.

В Україні значні запаси геотермальних вод є на Закарпатті, у Криму, а також у Івано-Франківській, Львівській, Донецькій, Запорізькій, Луганській, Полтавській, Харківській, Херсонській, Чернігівській та інших областях. Ці запаси вже сьогодні рентабельно використовуються не тільки для теплопостачання різних споживачів, а й для виробництва електроенергії. Доцільність розвитку геотермальної енергетики в Україні визначається наявністю значних ресурсів геотермальної енергії на її території, які за своїм тепловим еквівалентом перевищують запаси традиційного енергетичного палива. Існуючі ціни на енергоносії і перспективи їх росту роблять економічно вигідним будівництво геотермальних електростанцій у згаданих регіонах у найближчий час [1]. Значно покращить ситуацію з теплопостачання споживачів дозволить використання потенціалу навіть слаботермальних вод (від  $+30^{\circ}\text{C}$ ), запаси яких у багатьох регіонах країни доволі значні. Застосування цього виду геотермальної енергії широко практикується у країнах Європи і США для опалення будинків, виробничих приміщень, тваринницьких ферм за допомогою теплообмінників і теплонасосних установок. Це дає можливість економити до 50-70% тепла, яке використовується для створення температурного режиму у приміщеннях.

**Аналіз проблеми.** Впродовж багатьох років геотермальну енергію використовують Ісландія, США, Нова Зеландія, Франція, Угорщина і багато інших країн. У м. Рейк'явік (Ісландія) потужність геотермальної опалювальної системи складає 350 МВт і обслуговує понад 100 тис. жителів. В Угорщині площа геотермальних теплиць складає 1,5 млн.  $\text{m}^2$ . На ці та інші потреби кожного року

використовується 30 млн. Гкал геотермальної енергії. Одна із найпотужніших у світі геотермальних електростанцій (1400 МВт) знаходиться у районі Гейзерс (США).

Потенційна частка геотермальних ресурсів у загальному паливно-енергетичному балансі промислово розвинутих країн (Італії, США, Японії) оцінюється в 5–10%. З удосконаленням техніки і технології експлуатації цей відсоток може бути збільшено до 50% і більше відсотків.

Геотермальні води характеризуються багатьма факторами. Зокрема, за температурою вони поділяються на слаботермальні – до 40°C, високотермальні – 60-100°C, перегріті – понад 100°C. Вони відрізняються і за мінералізацією, кислотністю, газовим складом, тиском, глибиною залягання.

Відомо, що під Івано-Франківськом на глибині 1 кілометр температура землі становить близько 90 градусів за Цельсієм. За німецькою технологією можна забезпечити теплом усе місто, при цьому сплачувати декілька гривень за опалення. Суть технології полягає у бурінні свердловин. Далі між ними здійснюють вибух, в результаті чого появляється канал; вода циркулює під землею, нагріваючись до 90 градусів, далі подається в тепломережу. Система автоматизована, тому керувати нею може одна людина. Дану технологію використовують в двох німецьких містечках. Таку технологію можна застосовувати на Івано-Франківщині та в Криму.

Проте, щоб реалізувати таку технологію необхідно, перш за все, узагальнити та структурувати отримані дані про вже відомі родовища геотермальних вод. Це приведе до отримання інформації щодо доцільності експлуатації геотермальних родовищ та перспективи їх використання. Найдоцільніше використовувати бази даних, які б містили усю відому інформацію та факти про геотермальні родовища. Ці дані можна обновлювати, редагувати та методом пошуку знаходити відповіді на запитання, які виникатимуть при дослідженнях.

**Структуризація даних.** Одним з прикладів використання бази даних для даної проблеми є база даних геотермальних вод Італії. Тут міститься інформація про свердловини, в яких добувають геотермальну рідину (гаряча вода, пара), геотермальні дослідницькі свердловини або свердловини води, температура якої вища ніж 30°C, і непродуктивні свердловини, за допомогою яких можна зібрати корисну інформацію щодо температур на глибині в області, що досліджується. Гарячі джерела та інші дані також класифіковані як об'єкти. На сьогоднішній день в світі налічується понад 2750 свердловин і близько 570 гарячих джерел [2].

Така база даних є досить актуальною при структуризації даних про експлуатовані і перспективні геотермальні родовища в умовах Прикарпаття. Наведемо приклад бази даних, який можна використати для родовищ геотермальних вод в умовах Прикарпаття, що характеризуються складною геологічною будовою.

Вміст бази даних:

1) Ідентифікаційна інформація. Необхідно вказати назву набору даних. Наприклад, Geothermal. Тут будуть міститись дані хімічного складу та температури геотермальних вод (від джерела прісної води, на яке здійснюється вплив

геотермальними впаданнями). Такі дані необхідні як базові, що дозволить оцінити вплив геотермальних вод на інші водні потоки.

2) Контактна інформація. Тут вказується організація, позиція на ринку та програми, що використовують, а також адреса організації, електронна пошта та контактні телефони з інформаційним і технічним відділами.

3) Географічна (просторова) інформація. Містить дані про географічне розташування, висоту і глибину, кількість свердловин та їх характеристика, рік завершення.

4) Історія зібраних даних (інформація про період і частоту запису).

5) Якість інформації. Будь-яка отримана інформація повинна бути точною, отриманою згідно стандартів і логічно послідовною.

6) Інформація розподілу. Відбувається формування даних. Вони можуть бути у вигляді повідомлення, малюнку, графіків, звіту. Також можливі додатки.

7) Загальні замітки. Вказуються всі зауваження, що необхідні при подальшій роботі з базою даних.

При розробці інформаційної системи прогнозування доцільно використовувати реляційну базу даних з головними таблицями свердловин геотермальних покладів. У цих таблицях кожний з об'єктів (свердловина) розглядається як один запас та, відповідно, ідентифікується єдиним числовим кодом ID (Identification number – Ідентифікаційний номер), що є ключем. Ідентифікаційні таблиці забезпечують загальну інформацію про об'єкт (його назву, розташування, температура, використання та інші характеристики). Додаткові таблиці можуть компілюватись зі зв'язаною інформацією про температури, тепловий потік, геологічний профіль, хімічний склад і т.д. Вони зв'язуються з головними таблицями через такий самий ключ і, фактично, використовуються як підкаталоги головного каталогу (ідентифікаційна таблиця), що легко можна вибрати, використовуючи головне меню.

Повний список зв'язаних таблиць для свердловин і вибою свердловин повинні містити наступні дані:

1) для свердловин і вибою свердловин ідентифікацію і дані розміщення, виробництво на свердловинах, хімічні, фізичні, ізотонічні характеристики води (або пари);

2) тільки для свердловин температурні дані в глибині, температурний градієнт і дані потоків тепла, графічне зображення свердловин, характеристики резервуарів, технічний профіль свердловин, кореляція до вертикальних глибин для визначення відхилень свердловин.

Користувач може вибрати критерії (наприклад, температура  $> 30^{\circ}\text{C}$  і глибина  $< 1000$  м). Вибір температури за глибиною залягання зображується на графіку і додається до кожної свердловини разом зі загальним графіком свердловин. Подальший вибір – вибір необхідних даних з БД у файлах з форматом тесту (.txt). База даних також охоплює Географічну Інформаційну Систему (ГІС), яка використовує такий же ідентифікаційний код об'єкту (ключ).

**Формалізація процесу прогнозування покладів геотермальних вод.** У процесі вивчення основних параметрів, зв'язків між ними, які характеризують наявність чи відсутність родовища геотермальних вод, пропонується використати формалізацію, яка була запропонована у роботі [3], на основі введення ідеї категорійної специфікації даних. Введемо категорійну інтерпретації предметної області, використовуючи предикатні схеми.

**Означення 1:** Категорійною специфікацією даних (К-специфікацією), згідно [4], вважатимемо трійку  $(C, M, F)$  де:

1.  $C$  – скінченна категорія (геотермальне родовище);
2.  $M$  – скінченна множина об'єктів в  $C$  (дані геофізичних, акустичних досліджень, термометрії, дані з розвідувальних свердловин, експлуатаційних свердловин при видобутку вуглеводнів);
3.  $F: C_0 \rightarrow FinSet$  – функтор, де  $C_0$  є дискретною категорією, множина об'єктів якої є множиною об'єктів  $C$ .

**Означення 2:** Предикатною схемою на множині унарних предикатів  $\Pi$ , згідно [4], вважається об'єкт  $\eta = (B^{(n)}, R^{(n)}, f_1^{(n)}, f_2^{(n)}, n^{(n)})$ , де кожному елементу приписаний відповідний предикат  $(n: B^{(n)} \cup R^{(n)} \rightarrow \Pi)$ ,  $B$  – множина вершин,  $R$  – множина дуг а  $f_1$  і  $f_2$  – функції, які для кожної дуги визначають її початок і кінець.

Категорія  $C$  специфікації найчастіше задається графом та множиною рішень, яка визначається співпаданням предикатних схем. Нехай  $C$  – дискретна категорія з двома об'єктами ( $C = \{\text{КОЛЕКТОР}, \text{РОДОВИЩЕ}\}$ ).

**РОДОВИЩЕ** – це один або декілька продуктивних горизонтів або площ, з близькими характеристиками та спільними геологічними умовами, які розробляються одним фондом свердловин. **КОЛЕКТОР** – це резервуар для води, який має певні фільтраційно-ємнісні характеристики, що потенційно дозволяють утримувати чи проводити продукцію.

$$\eta = \begin{array}{c} \text{КОЛЕКТОР} \\ \downarrow l_1 \\ \text{РОДОВИЩЕ} \end{array}, M = \emptyset$$

Ця специфікація говорить, що предметна область, яку ми хочемо формалізувати, складається з двох видів сутностей. Стрілки в категорії встановлюють існуючі залежності. Наприклад:

Так як стрілка є функцією в моделі, то це відповідає тому, що кожен **КОЛЕКТОР** належить певному **РОДОВИЩУ**.

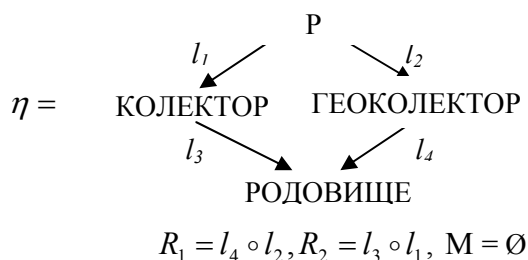
Першоджерело з  $n$  стрілками в категорії можна подати як  $n$ -арне мультивідношення:

$$\eta = \begin{array}{ccc} & \text{P} & \\ & \swarrow l_1 & \searrow l_2 \\ \text{КОЛЕКТОР} & & \text{ГЕОКОЛЕКТОР} \\ & , M = \emptyset & \end{array}$$



Ця специфікація показує, що ПАРАМЕТРИ  $P = \{\text{польові та промислові геофізичні дані і аналіз керну}\}$  є мультивідношення між КОЛЕКТОРОМ і ГЕОТЕРМАЛЬНИМ КОЛЕКТОРОМ: кожному об'єкту типу ПАРАМЕТРИ відповідає пара  $(x, y)$ , де  $x$  типу КОЛЕКТОР,  $y$  – ГЕОТЕРМАЛЬНИЙ КОЛЕКТОР. Можливий такий варіант, коли різним об'єктам типу ПАРАМЕТРИ відповідає однакова пара. Наприклад, ГЕОТЕРМАЛЬНИЙ КОЛЕКТОР може визначатися за різним набором параметрів.

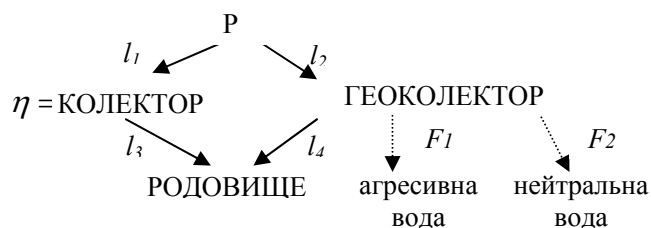
Для дотримання точності введених визначень на  $C$ , введемо обмеження:



Ця специфікація показує, що КОЛЕКТОР і ГЕОКОЛЕКТОР можуть визначатися через ПАРАМЕТРИ, якщо вони належать до одного родовища. Такий вид конструкцій часто використовується на практиці. Якщо  $l_1$  - характеристики аналізу гравіметричної, магнітометричної, сейсмометричної розвідки та електророзвідки;  $l_2$  – характеристики геофізичних досліджень свердловин та геологічних досліджень, то  $l_3$  - характеристики опору пласта, пористості пласта, аналіз географічного розміщення, проникності пласта;  $l_4$  - характеристики пористості пласта визначених з аналізу керну, геофізичної розвідки, аналіз географічного розміщення. На основі даних тверджень інтерпретація композиції  $R_1$  і  $R_2$  набудуть вигляду:

$R_1$  – обмеження для характеристик аналізу геологічної розвідки, опору пласта;  $R_2$  – обмеження для характеристик пористості пласту, аналізу геофізичної розвідки і термометрії.

В попередніх прикладах функтори  $F_1, F_2$  були константними. Нехай тепер:



$$R_1 = l_4 \circ l_2, R_2 = l_3 \circ l_1$$

Функтори  $F_1, F_2$  означені на малюнку пунктирними стрілками. Якщо з вузла графа існують лінії до скінчених множин, то це визначають функтори  $F_1(n), F_2(n)$  для даного вузла. Тобто ГЕОКОЛЕКТОР є множиною двох сутностей {нейтральна вода, агресивна вода}. Якщо від вузла  $n$  немає пунктирних ліній,

то  $F_1(n)$ ,  $F_2(n)$  є порожніми множинами. З вище означеними функторами  $F_1, F_2$  ми можемо зв'язати множину  $P$  з скінченою множиною параметрів, які характеризують КОЛЕКТОРИ.

На даному етапі розвитку геодезичних методів відомо досить багато факторів, не зв'язаних між собою, які прогнозують колектор: сейморозвідка, електророзвідка, гравірозвідка, акустична розвідка, аналіз керну, якісний та кількісний склад наявних геотермальних вод [5].

**Висновки.** Виконано узагальнення і структуризація даних, які будуть використані для інформаційних систем, необхідних для прийняття рішень при розробці перспективних геотермальних родовищ Прикарпаття. Введено підхід до опису геотермального покладу області на категорійному рівні за допомогою предикатних схем, що дає змогу зображати зв'язки і відмінності між різними об'єктами даної предметної області.

#### Список літератури

1. Bojan Stoyanov, Anthony Taylor. Geothermal resources in Russia & Ukraine. November 22, 1996, p. 11 – 15.
2. The Italian geothermal database. Proceedings World Geothermal Congress 2000. Kyushu – Tohoku, Japan, May 28 – June 10, 2000, pp. 3991 – 3992.
3. Шекета В.І. “Побудова інформаційної предикатної схеми, як середовища виконання трансформації запитів користувача по напівструктурованій інформації нафтогазової предметної області” Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу /Технічні науки – 2003. №2(6).-С.50-57.
4. F. Piessens, E. Steegmans "Categorical data-specification" Theory and Application of Categories, vol. 1, No. 8, 1995, pp.156-173.
5. Бойчук Л.О. Управление процессом прогнозирования наличия геотермальных вод на истощенных нефтегазовых месторождениях/ Бойчук Л.О., Яцышин Н.Н. Юрчишин В.Н.// Материалы XI Международной научно-технической конференции : Кибернетика и высокие технологии XXI века (С&Т-2010).- 12–14 мая 2010 года, Воронеж, Россия .- Воронеж.: ВГУ, 2010.- с. 343-351.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.  
Надійшла до редакції 18.05.11*

УДК 004.942:622.286

© М.М. Демчина, В.Р. Процюк, В.І. Шекета

## **МОДЕЛЮВАННЯ НАФТОГАЗОВОЇ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ НА ОСНОВІ ФРЕЙМОВО-ПРОДУКЦІЙНОГО ПІДХОДУ**

Для нефтегазового объекта введено описание его характеристик и свойств в форме числовых и логических атрибутов, а также атрибута категории. Описана структура типичных производственных правил для информационных интеллектуальных систем промышленного применения. Представлена формальная фреймовая модель предметной области с введенной доменной иерархией, уровни которой описываются правилами.

Для нефтегазового объекта введено описание его характеристик та властивостей в формі числових, логічних та категорійних атрибутів. Описано структуру типових продукційних

правил для інформаційних інтелектуальних систем промислового застосування, визначено їх необхідні та достатні складові. Представлено формальну фреймову модель предметної області з введеною доменною ієрархією, рівні якої описуються правилами.

For introduced oil and gas object there is presented the description of his properties in the form of numerical, logical and categorical attributes. The structure of typical production rules for intelligible systems of industrial use is described, and their necessary and sufficient parts are defined. The formed frame model of subject area with introduced domains hierarchy is constructed with levels in the form of rules.

Фреймовий підхід для представлення знань базується на теорії фреймів. Дана модель часто розглядається як добре структуризована, об'єктно-орієнтована модель предметної області. В найпростішій інтерпретації фрейми це структури для зберігання даних та знань [1-2]. Фреймова інформація категоризується по кількох рівнях: перший рівень описує спосіб використання фрейму; другий рівень – очікувану поведінку фрейму; третій рівень – нестандартні ситуації. Фрейм розглядається як контейнер для знань і в той же час, як входження бази даних. Крім того фрейм представляє вузькоспеціалізовані зв'язані знання по виділеній темі з частиною входжень визначених як значення по замовчуванню. Важливим елементом також є можливість застосування ієрархії фреймів, в якій введена операція наслідування є подібною до об'єктно-орієнтованих реалізацій в імперативних мовах програмування. Використання операцій наслідування відкриває широкі можливості щодо побудови ієрархій фреймів, які на відміну від ієрархій класів ООП можуть мати відмінну структуру та наповнення фреймів на всіх рівнях, ідентичну структуру та наповнення, ранжованість структури та наповнення, наслідування у формі заміщень по структурі та наповненню. Ієрархія фреймів крім властивостей зв'язаності її рівнів дозволяє також виконувати стратифікацію контенту предметної області, виконуючи виділення та класифікацію ситуацій, що представляється у формі секцій або доменів. В кожному вузлі фрейму розміщуються відповідно декларативні описи ситуацій або послідовності дій. Адаптивність фрейму забезпечується тим, що частина вузлів не заповнені конкретними даними, а тільки їх прототипами представленими також у формі умовних заміщень, де вибір значень залежатиме від виконання певних умов.

В залежності від виду застосування фрейми поділяють на: ситуаційні, рольові, семантизовані, декларативні, структурні, фрейми-сценарії. По характеру знань фрейми можуть описувати причинно-наслідкові зв'язки в формі декларативних описів ситуацій та послідовності дій як імплементації декларативності ситуацій предметної області. Доменно-секційні фрейми описують знання релевантні до певних ситуацій.

Проте недослідженою є проблема застосування фреймового підходу для представлення знань нафтогазової предметної області на виділеній множині об'єктів та правил.

**Метою** даної статті є розробка формальної та структурної основи для моделювання нафтогазових об'єктів на основі фреймових конструкцій.

**Означення 1.** Знаннями про *нафтогазовий об'єкт* будемо вважати інтерпретацію в термінах штучного інтелекту сукупності даних, понять, фактів та

закономірностей нафтогазової предметної області, що об'єднуються певною ознакою яка дозволяє представлення цілісної структури.

Згідно [3] під нафтогазовим об'єктом будемо розуміти також концепцію предметної області, яка може бути кінцевим набором характеристик. Для опису нафтогазового об'єкту потрібно вказати його розміри, форму та склад, а також охарактеризувати його будову (структуру), для чого потрібно зазначити положення його елементів у просторі станів. Нафтогазові об'єкти, які описуються одним і тим самим повним набором даних будемо вважати однотипними об'єктами. В даному випадку дані – це мінімальна, неподільна семантична одиниця інформації про нафтогазовий об'єкт, яка складається з елементів подальший поділ яких втрачає смисловий зміст. За допомогою даних є можливим відображення певних властивостей об'єкта, інформація про який зберігається в пам'яті комп'ютера. За структурованістю знання та дані які описують нафтогазові об'єкти поділяються на структуровані, слабоструктуровані та неструктуровані, що являють собою слабоформалізовані або неформалізовані знання та дані.

Прикладом нафтогазового об'єкту може бути резервуар, пастка, поклад, частина покладу, пласт, сукупність пластів, колектор, свердловина тощо. Під час опису параметрів об'єктів такого типу потрібно вказувати відомості про степінь освоєння даного об'єкта, фазовий стан флюїду, літологію колектора, просторове розташування, (нафтогазоносна провінція, область, район і т.д.), тектонічна належність (ера, система, відділ, ярус, світа, горизонт), стратиграфічна належність (блок, склепіння), літологія колектора (пісковики, вапняки, доломіти, гравеліти, тощо).

**Означення 2.** *Базою знань* нафтогазової предметної області (*KB – Knowledge Base*) будемо називати структуру представлення та управління наборами фактів, правил та процедур логічного висновку на множині нафтогазових об'єктів.

База знань нафтогазової предметної області може бути представлена у вигляді файлу в якому зберігається інформація про такі компоненти бази знань як об'єкти, правила, домени та функції. Структура такого файлу визначає взаємозв'язок між окремими його складовими та взаємодію між компонентами, які складають основу всієї системи.

Основною структурною одиницею нафтогазової предметної області є об'єкт який має певні характеристики та властивості, що описуються за допомогою атрибутів, які в свою чергу можуть бути одного із трьох типів: числового, логічного та категорійного. Наприклад, для об'єкту «Пласт» типовими атрибутами є тип колектора, наявність залишкової нафтонасиченості, пластова температура, які можуть приймати певні значення. Так категорійний атрибут «тип колектора» може приймати значення тріщинуватий, тріщинувато-поровий, поровий та прошаркуватий. Атрибут «наявність залишкової нафтонасиченості» є логічним атрибутом, який може набувати одного із трьох можливих значень: так, ні, не відомо, а числовий атрибут «пластова температура», відповідно може приймати значення з числового діапазону від 0 до 200. Аналіз існуючих інформаційних інтелектуальних систем на основі баз даних та знань для нафтогазової

предметної області [3] дозволяє в якості ефективного механізму представлення, збереження та підтримки знань використовувати набори правил. Наприклад для промислової задачі «обмеження припливу пластових вод» використовуються типові правила виду:

**якщо**  $A_{11} = V_{11} \text{ і } A_{12} \geq V_{12} \text{ і } A_{13} \leq V_{13}$  **тоді активація**  $D_{11}$ ,

де  $A_{11}$  = «Колектор»;  $A_{12}$  = «Пластова температура»;  $A_{13}$  = «Пластова температура»;  $V_{11}$  = «прошаркуватий»;  $V_{12}$  = «50 \*C»;  $V_{13}$  = «80 \*C»;  $D_{11}$  = «Техн 10 мости (100)».

**якщо**  $A_{21} = V_{21}$  **або**  $A_{22} = V_{22}$  **тоді активація**  $D_{21}$ ,

де  $A_{21}$  = «Пластова вода»;  $A_{22}$  = «Пластова вода»;  $V_{21}$  = «верхня»;  $V_{22}$  = «нижня»;  $D_{21}$  = «Тампонування (100)».

**якщо**  $A_{31} = V_{31} \text{ і } A_{32} \geq V_{32} \text{ і } A_{33} \leq V_{33}$  **тоді твердження**  $C_{31}$ ,

де  $A_{31}$  = «Експлуатаційна колона»;  $A_{32}$  = «Допустимий час витримки»;  $A_{33}$  = «Граничний градієнт тиску»;  $V_{31}$  = «герметична»;  $V_{32}$  = «48 год.»;  $V_{33}$  = «2 МПа/м»;  $C_{31}$  = «Номер технології = 7 (100)».

**якщо**  $A_{41} = V_{41}$  **або**  $A_{42} = V_{42}$  **тоді твердження**  $C_{41}$ ,

де  $A_{41}$  = «Колектор»;  $A_{42}$  = «Колектор»;  $V_{41}$  = «поровий»;  $V_{42}$  = «прошаркуватий»;  $C_{41}$  = «Номер технології = 4 (100)».

Для задачі «прогнозування нафтогазових покладів»:

**якщо**  $A_{11} > V_{11} \text{ і } A_{12} \leq V_{12} \text{ і } A_{13} > V_{13}$  **тоді активація**  $D_{11}$ ,

де  $A_{11}$  = «Розмір тріщин»;  $A_{12}$  = «Пластова температура»;  $A_{13}$  = «Мінералізація води»;  $V_{11}$  = «10 мм»;  $V_{12}$  = «40 \*C»;  $V_{13}$  = «10 г/л»;  $D_{11}$  = «Техн 11 бар'єри (100)».

**якщо**  $A_{21} = V_{21}$  **або**  $A_{22} = V_{22}$  **тоді активація**  $D_{21}$ ,

де  $A_{21}$  = «Колектор»;  $A_{22}$  = «Колектор»;  $V_{21}$  = «поровий»;  $V_{22}$  = «прошаркуватий»;  $D_{21}$  = «Техн 13 мости (100)».

**якщо**  $A_{31} = V_{31} \text{ і } A_{32} = V_{32} \text{ і } A_{33} \geq V_{33} \text{ і } A_{34} \leq V_{34}$   
**тоді твердження**  $C_{31}$ ,

де  $A_{31}$  = «Експлуатаційна колона»;  $A_{32}$  = «Вибій свердловини»;  $A_{33}$  = «Допустимий час витримки»;  $A_{34}$  = «Граничний градієнт тиску»;  $V_{31}$  = «герметична»;  $V_{32}$  = «незабруднений»;  $V_{33}$  = «48 год.»;  $V_{34}$  = «2 МПа/м»;  $C_{31}$  = «Технологія 13 (100)».

**якщо**  $A_{41} = V_{41}$  **або**  $A_{42} = V_{42}$  **тоді твердження**  $C_{41}$ ,

де  $A_{41}$  = «Пластова вода»;  $A_{42}$  = «Пластова вода»;  $V_{41}$  = «верхня»;  $V_{42}$  = «нижня»;  $C_{41}$  = «Напрямок ОППВ - тампонування за колонного простору (100)».

Для задачі «прогнозування нафтогазових колекторів»:

**якщо**  $(A_{11} = \text{true} \text{ і } A_{12} \geq V_{11})$  **експертна порада**  $C_{11}$

**якщо не**  $(A_{13} = \text{true})$  **або не**  $(A_{14} \geq V_{12})$  **експертна порада**  $C_{12}$ ,

де  $A_{11}$  = «прогноз\_колектор»;  $A_{12}$  = «пористість\_відкрита»;  $A_{13}$  = «прогноз\_колектор»;  $A_{14}$  = «пористість\_відкрита»;  $V_{11}$  = «10»;  $V_{12}$  = «10»;  $C_{11}$  = «Порода належить до класу колекторів»;  $C_{12}$  = «Порода не належить до класу колекторів».

**якщо** ( $A_{21} = \text{true}$  **і**  $A_{22} \leq V_{21}$ ) (**експертна порада**  $C_{21}$ , **стоп**)  
**якщо не**( $A_{23} = \text{true}$ ) **або не** ( $A_{24} \leq V_{22}$ ) (**експертна порада**  $C_{22}$ , **виклик процедури**) **якщо** ( $A_{25} = \text{true}$ ) (**експертна порада**  $C_{23}$ , **стоп**)  
**якщо не** ( $A_{26} = \text{true}$ ) (**експертна порада**  $C_{24}$ , **вихід**) ,

де  $A_{21}$  = «прогноз\_продуктивний\_колектор»;  $A_{22}$  = «коефіцієнт\_водонасичення»;  $A_{23}$  = «прогноз\_продуктивний\_колектор»;  $A_{24}$  = «коефіцієнт\_водонасичення»;  $A_{25}$  = «прогноз\_колектор»;  $A_{26}$  = «прогноз\_колектор»;  $V_{21}$  = «3.5»;  $V_{22}$  = «3.5»;  $C_{21}$  = «Порода належить до класу продуктивних колекторів»;  $C_{22}$  = «Порода не належить до класу продуктивних колекторів»;  $C_{23}$  = «Порода належить до класу колекторів»;  $C_{24}$  = «Порода не належить до класу колекторів».

**якщо** ( $A_{31} = V_{31}$ ) **виконати**  $D_{31}$ ,

де  $A_{31}$  = «родовище»;  $V_{31}$  = «Руденківське»;  $D_{31}$  = «Руденківське».

Правила містять змінні (V) які замінюють певну сукупність фактів. Так фактичним значенням атрибуту (A) – «Колектор» є змінна «прошаркуватий», а значенням змінної «Пластова температура» – число 50.

Для активації правил використовуються домени (D), які виступають в ролі специфічних контейнерів для зберігання певного набору правил. Так як правила можуть використовуватися в процесі висновку (C) тільки у випадку, якщо їхній домен є активним, то існує концепція головного домену (main domain), який є завжди активним. Активація інших доменів здійснюється через умову, яка визначається набором правил.

В якості механізму розширення функціональності системи використовуються функції, що дозволяють виконувати математичні операції над змінними, які можуть набувати певних фактичних значень і в результаті визначати характеристики та властивості нафтогазових об'єктів. Виклик функцій відбувається через механізм логічного висновку який формується набором правил.

На формальному рівні фреймову модель доцільно представляти кортежем виду:

$$FM = \langle FS, \{F_i.SS\}, DT, VR, RS, IR, \rangle, \quad (1)$$

де  $FM$  (*FrameModel*) – фреймова модель;  $FS$  (*FrameSet*) – множина фреймів;  $F_i.SS$  (*Frame<sub>i</sub>.SlotSet*) – множина слотів  $i$ -того фрейму;  $DT$  (*DataTypes*) – типи даних;  $VR$  (*ValuesRange*) – діапазон значень;  $RS$  (*RoutinesSet*) – множина процедур;  $IR$  (*InheritanceRelations*) – відношення наслідування.

Реалізація методики представлення знань про нафтогазові об'єкти у вигляді фреймів матиме вигляд, як на рис.1.

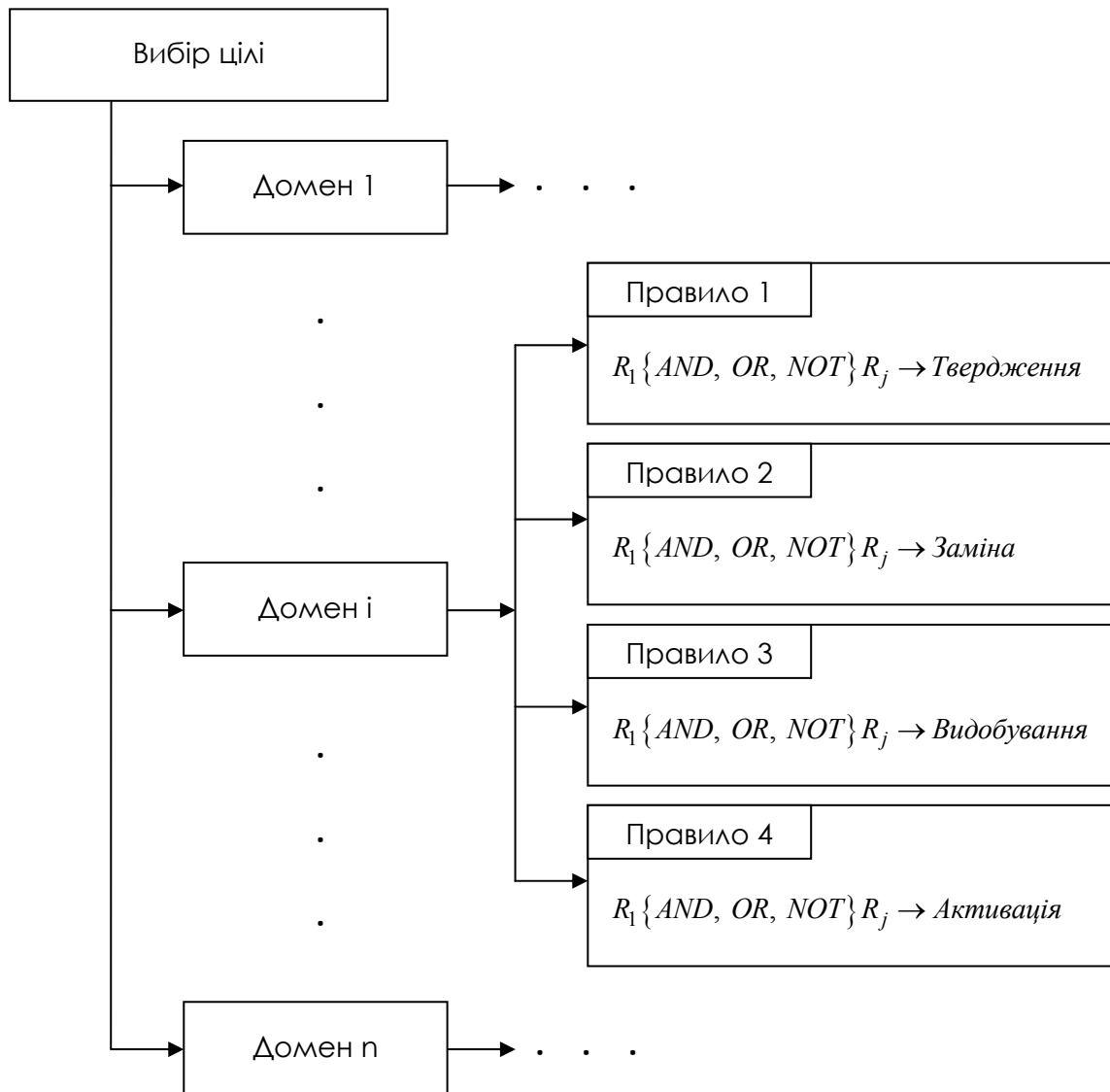


Рис. 1. Типова фреймова структура представлення знань нафтогазової предметної області

Відповідно до ситуації предметної області система вибирає певний фрейм з бази, що відповідає даному класу ситуації, виконує його узгодження з описом ситуації шляхом актуалізації певних даних з відповідних наборів, що відповідно призводить до отримання максимально адаптивного представлення фрейму. При такому підході система використовує два типи фреймів: прототипні фрейми із заданими значеннями комірок по замовчуванню та ініціалізовані фрейми з ініціалізованими значеннями комірок відповідно до фактичного стану предметної області. Такий опис дозволяє отримати деталізацію формальної структури фрейму у вигляді:

$$FrameStructure = \{ \langle Slot_1, Value_1 \rangle, \langle Slot_2, Value_2 \rangle, \dots, \langle Slot_k, Value_k \rangle \}, \quad (2)$$

де  $Slot_k$  –  $k$ -й слот;  $Value_k$  – значення  $k$ -го слоту.

Деталізація значень слотів може бути зведена до:

$$Slot_i.Value_i = \left\{ \left\langle Slot_i.Attr_{j_1}, Attr_{j_1}.Values^{set} \right\rangle, \dots, \left\langle Slot_i.Attr_{j_n}, Attr_{j_n}.Values^{set} \right\rangle; Ref_1, \dots, Ref_i \right\}, \quad (3)$$

де  $Slot_i.Attr_j$  - це  $j$ -й атрибут  $i$ -го слоту;  $Attr_j.Values^{set}$  - це множина значень  $j$ -го атрибуту;  $Ref_i$  - це посилання на інші слоти або фрейми.

Структуру слоту можна визначити формальною структурою виду:

$$SlotStructure = \left\{ SlotName, DateType, DefaultValue, InheritanceFeture, \right. \\ \left. Routines, Rules, Pictures, Remarks, Assumes \right\}, \quad (4)$$

де  $SlotName$  - ім'я слоту;  $DateType$  - тип даних;  $DefaultValue$  - значення по замовчуванню;  $InheritanceFeture$  - особливість наслідування;  $Routines$  - процедури;  $Rules$  - правила;  $Pictures$  - зображення;  $Remarks$  - коментарі;  $Assumes$  - припущення щодо стратегії поведінки.

Результати отримані в [3] показують, що з точки зору практичного застосування в нафтогазовій предметній області ефективним рішенням є побудова фреймової системи виду, як на рис.2.

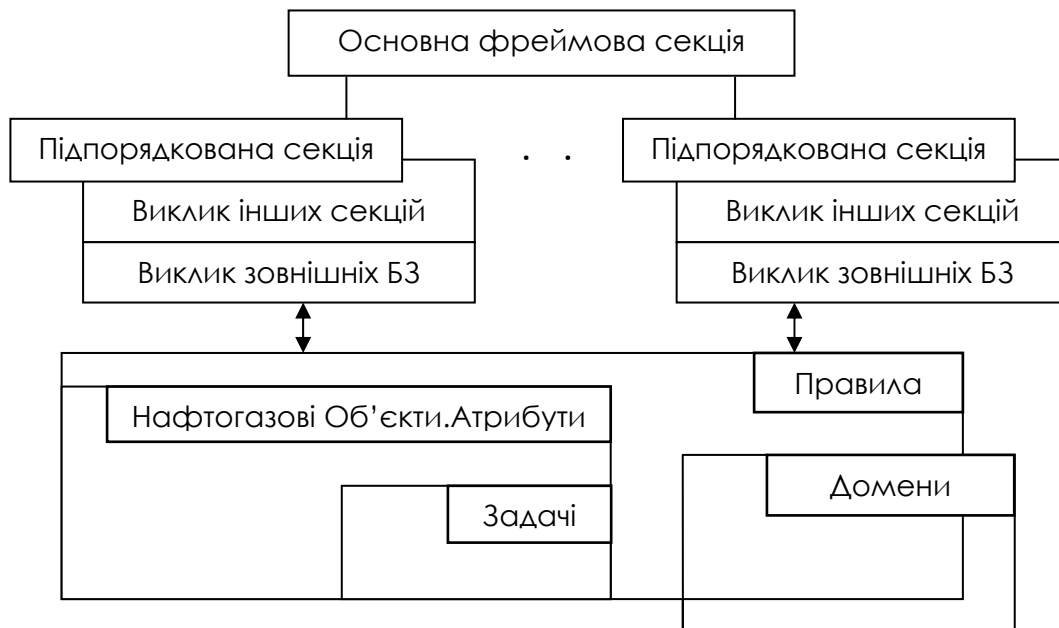


Рис. 2. Структура фреймово-продукційного підходу моделювання нафтогазових об'єктів

**Означення 3.** Фреймовою процедурою називають процедуру що запускається автоматично при досягненні певної умови (в основному при операціях із



вмістимим слотів). Розрізняють процедури-демони (що запускаються з поточного фрейму) і сервісні процедури, які запускаються з інших фреймів. У випадку баз знань нафтогазової предметної області такими процедурами в основному є засоби редагування цілей, доменів та правил.

Утворення бази знань на основі фреймів [4] передбачатиме процедуру контролю множини входжень яка дозволяє відповідно контролювати множину фреймів з метою уникнення повторних входжень.

**Означення 4.** Фреймовою системою називають сукупність фреймів з ієрархічною структурою, яка утворює одну з можливих моделей предметної області. В запропонованому підході введення фреймової системи на основі рішень представлених на рис. 1 та рис.2 дозволяє отримати продукційно-орієнтовані представлення для багаторівневої фреймової ієрархії, що реалізовує такі основні компоненти, як об'єкти, правила та домени. Введення ієрархії фреймів такого виду дозволяє виконувати таксономізацію та онтологізацію предметної області шляхом розміщення на верхніх рівнях більш значимих понять, які деталізуються на нижчих рівнях. Така ієрархія може функціонувати відповідно в статичному та динамічному режимі.

**Висновки.** В представленому дослідженні побудовано загальну структуру застосування фреймово-продукційного підходу при моделюванні нафтогазових об'єктів, а також для представлення знань про нафтогазову предметну область в інформаційних інтелектуальних системах на основі баз даних та баз знань. Імплементация отриманих формально-логічних рішень дозволяє поєднувати декларативні та процедурні знання в процесі послідовного уточнення рішень на множині впорядкованих та ієрархічно структуризованих предметних знань. Подальші дослідження даного напрямку будуть направлені на реалізацію практично орієнтованих шаблонів правил та фреймів.

#### Список літератури

1. Поспелов Д.А. Данные и знания. Искусственный интеллект / Д.А. Поспелов. – М.: Радио и связь. – 1990. – 300 с.
2. Vitaliy Melnyk, Roman Vovk, Mykola Demchyna. Frame Based Approach to Construction of Intelligent System for Student Knowledge Control // Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії: матеріали 10-тої Ювілейної міжн. наук.-тех. конф., 23-27 лютого 2010 р. – Львів, 2010 – С. 248-250.
3. Юрчишин В.М. Інформаційне моделювання нафтогазових об'єктів: монографія / Юрчишин В.М., Шекета В.І., Юрчишин О.В. – Івано-Франківськ: Вид-во Івано-Франківського нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2010 – 196 с.
4. Демчина М.М. Застосування концептуальних елементів експертних систем для контролю знань / Демчина М.М., Шекета В.І., Федорак Р.М. // Комп'ютерні науки та інформаційні технології: матеріали IV Міжн. наук.-тех. конф. CSIT-2009., 15-17 жовтня 2009 р. – Львів, 2009 – С. 153-156.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМ АГРЕГАТОМ С ТИПОВЫМИ ПРОМЫШЛЕННЫМИ РЕГУЛЯТОРАМИ

Приведены результаты исследования возможности расчетов параметров регулятора с широтно-импульсным модулятором по методам расчетов аналоговых ПИД-регуляторов.

Наведені результати дослідження можливості розрахунків параметрів регулятора із широтно-імпульсним модулятором за методами розрахунків аналогових ПІД-регуляторів.

The research results of the possible parameter calculations of a regulator, with the pulse-width modulator, using analogue PID-regulator calculation methods are presented.

В системах автоматического управления особое место занимают тепловые объекты. Они выделены в особый класс потому, что характеризуются большой инерционностью. Тепловые объекты с точки зрения математического описания рассматриваются совместно с датчиками температуры. За счет этого в математическом описании объекта управления появляется запаздывание. Таким образом математическое описание большинства тепловых объектов имеют одинаковую структуру математического описания, определяемого по кривой разгона.

С конструктивной точки зрения тепловые объекты можно разделить на два больших класса: с тепловыми элементами с приводными электрическими исполнительными механизмами типа МЭО и нагревателями, холодильниками без исполнительных механизмов.

Чаще всего на нижнем уровне управления для реализации задач стабилизации температуры используются релейные или импульсные регуляторы [1]. Релейные регуляторы используются там, где не выдвигаются серьезные требования к статическим и динамическим характеристикам показателей качества работы системы. Импульсные регуляторы, могут в зависимости от типа нагревателя реализовывать классические законы управления. Характерной особенностью таких регуляторов является широтно-импульсная модуляция выходного сигнала.

Для релейных систем автоматического управления существуют хорошо разработанные теоретические методы расчета параметров установившихся колебаний управляемого параметра, да и компьютерное моделирование не вызывает никаких затруднений.

Иное дело ПИД-регуляторы с ШИМ- модуляцией выходного сигнала. Расчет таких регуляторов с инженерной точки зрения затруднен и в большинстве случаев носят эмпирический рекомендательный характер [2].

В рассматриваемой работе сделана попытка представить тепловой агрегат с нагревателем с приводным электрическим механизмом и промышленным регулятором фирмы ЭЛЕМЕР в виде линейной системы для небольших отклоне-

ний управляемого параметра. Рассчитать параметры регулятора используя методы корневого годографа или логарифмические частотные характеристики в программе пакета Matlab, Sisotool. Выполнить компьютерное моделирование с линейным регулятором и с импульсным. Сравнить полученные результаты по переходным характеристикам и проверить результат на реальном объекте.

Для физического моделирования и исследования работы АСР температуры электропечи была создана лабораторная установка в составе объекта управления – электропечь с возмущением в виде потока воздуха от вентилятора и АСР температуры, состоящей из промышленных средств получения информации, промышленного регулятора и другой аппаратуры.

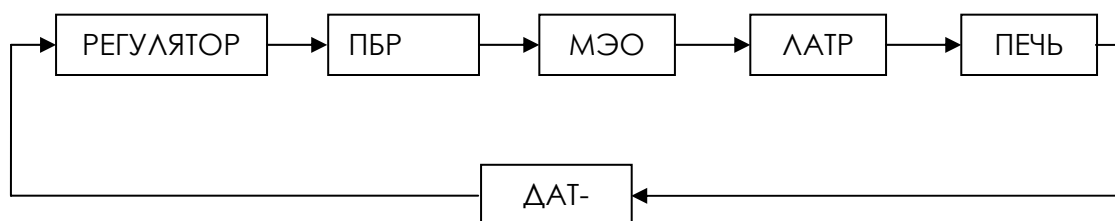


Рис. 1. Схема функциональной структуры АСР температуры в электрической печи

Для идентификации апериодического звена второго порядка метод Ормана есть наилучшим, поскольку он не требует находить точку перегиба на кривой, что возможно осуществить лишь приблизительно.

Тогда для идентификации ОР нужно определить четыре параметра: коэффициент передачи  $K$ , постоянную времени  $T$ , коэффициент демпфирования  $\xi$  и время запаздывания  $\tau$ .

Для построения математической модели объекта управления использовался метод восстановления параметров модели по эмпирическим данным. Для этого с помощью лабораторной установки была получена экспериментальная кривая разгона печи для исследования объекта управления и построения его математической модели. Результат экспериментального переходного процесса (кривая разгона печи) приведен на рисунке 2.

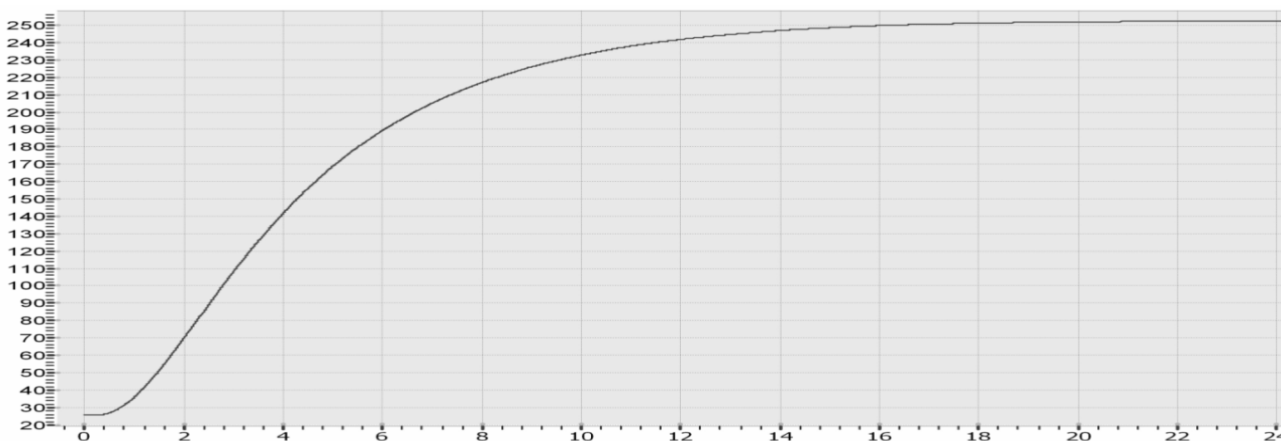


Рис. 2. Экспериментальная кривая разгона печи

Для исследования работы ШИМ-регулятора при различных настройках, построена математическая модель системы управления температурным режимом нагревательной печи.

Структурная схема системы представлена на рисунке 3.

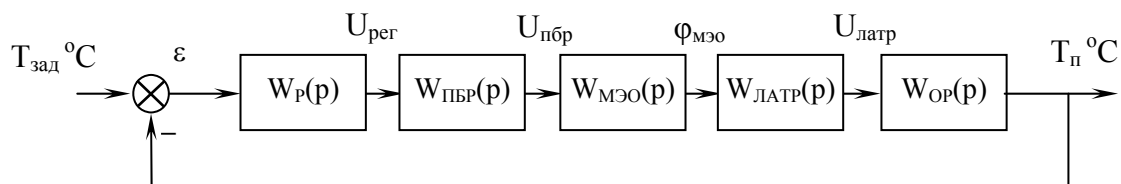


Рис. 3. Структурная схема исследуемой САУ.

$W_p(p)$  – передаточная функция регулятора;  $W_{пбр}(p)$  – передаточная функция пускателя;  $W_{мэо}(p)$  – передаточная функция МЭО;  $W_{латр}(p)$  – передаточная функция ЛАТРа;  $W_{оп}(p)$  – передаточная функция ОР.

При моделировании тепловых агрегатов печь и датчик температуры объединяют и считают их как объект управления. Следовательно, передаточная функция ОР будет равна произведению передаточной функции печи на передаточную функцию датчика температуры:

$$W_{op}(p) = W_{печи}(p) * W_{д.т}(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} \quad (1)$$

Особенностью объекта регулирования является наличие временного запаздывания. Отсутствие инженерных методов расчета усложняет расчет регуляторов в системах с чистым запаздыванием.

Однако звено транспортного запаздывания может быть представлено последовательным соединением цепочки апериодических звеньев. Таким способом мы можем исключить нелинейность [3].

Для более простого метода расчета настроек регулятора разложим  $e^{-p\tau}$  в дробный ряд Пада по формуле 2 и ограничимся первыми двумя членами:

$$W(p) = e^{-p\tau} = \frac{A - Bp + Cp^2 - Dp^3}{A + Bp + Cp^2 + Dp^3} \quad (2)$$

где  $A=1$ ,  $B=0,5\tau$ ,  $C = \frac{\tau^2}{8}$ ,  $D = \frac{\tau^3}{48}$  при  $\tau = 20c$ .

При этом передаточная функция звена чистого запаздывания примет вид:

$$W(p) = e^{-p\tau} = \frac{1 - 10p}{1 + 10p} = \frac{1}{1 + 10p} - \frac{10p}{1 + 10p}$$

Ошибка такой замены оценивается, как разность характеристики, построенной с помощью модели объекта с чистым запаздыванием  $e^{-p\tau}$  и характеристики объекта с запаздыванием, разложенным в ряд Пада. Интегральная ошибка составила  $0,003^0C$ , что составляет  $0,001\%$  от максимального значения температуры.

Рассчитываем линейный регулятор для этой системы и рассмотрим задачу системы около точки заданной температуры и выберем период ШИМ сигнала (период дискретизации) в 5-10 раз больше чем наибольшая существенная частота, пропускаемая объектом [4].

Добавив в модель регулятора ШИМ-преобразователь сравним переходные характеристики системы с линейным регулятором и регулятором фирмы «ЭЛЕМЕР».

В пакете MATLAB задав передаточную функцию ОР и предполагаемого регулятора, вызываем команду `sisotool`. В окне Open-Loop Bode Editor корректируем желаемую ЛАЧХ разомкнутого контура (рисунок 4). Пропорциональный и дифференциальный коэффициенты передачи регулятора равны соответственно  $K_p=0,003$ ,  $K_d=0,01$ .

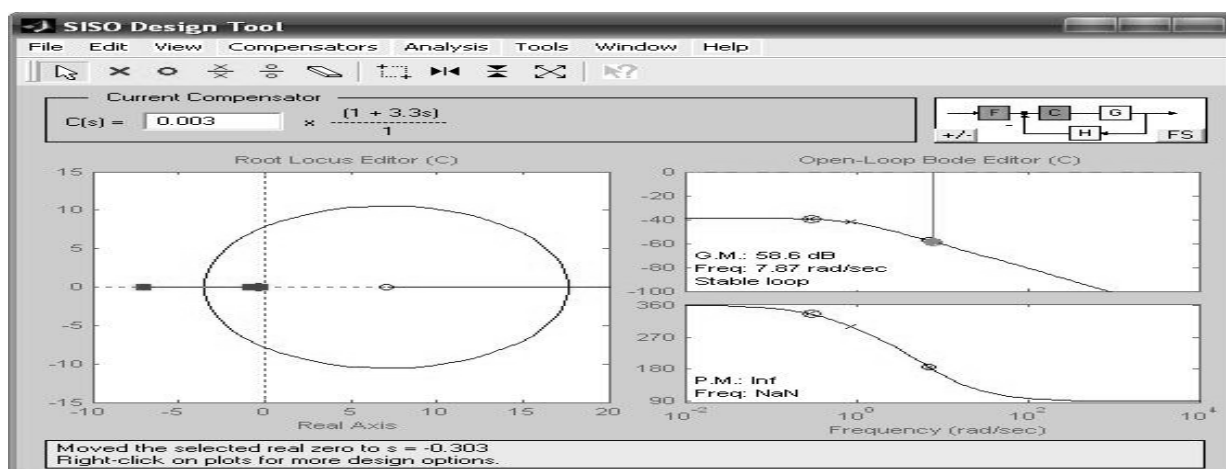


Рис. 4. Окно Open-Loop Bode Editor

Для моделирования регулятора с широтно-импульсной модуляцией разработан модель широтно-импульсного модулятора.

Ниже приведены графики переходных процессов в системе регулирования температуры с широтно-импульсным модулятором (рисунок 5).

Для оценки возможности применения регулятора с широтно-импульсной модуляцией применяем интегральный критерий. Интегральная ошибка составила  $0.79^{\circ}\text{C}$ , что составляет 0,3% от максимального значения температуры.

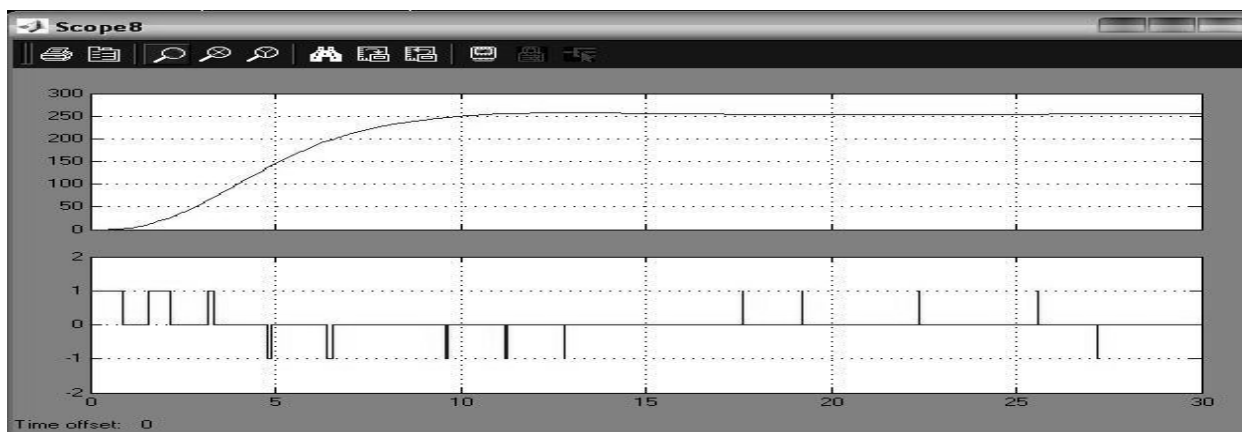


Рис. 5. Графики переходных процессов

Графики изменения ошибки регулирования в системе с аналоговым регулятором и ШИМ-регулятором приведен на рисунке 6.

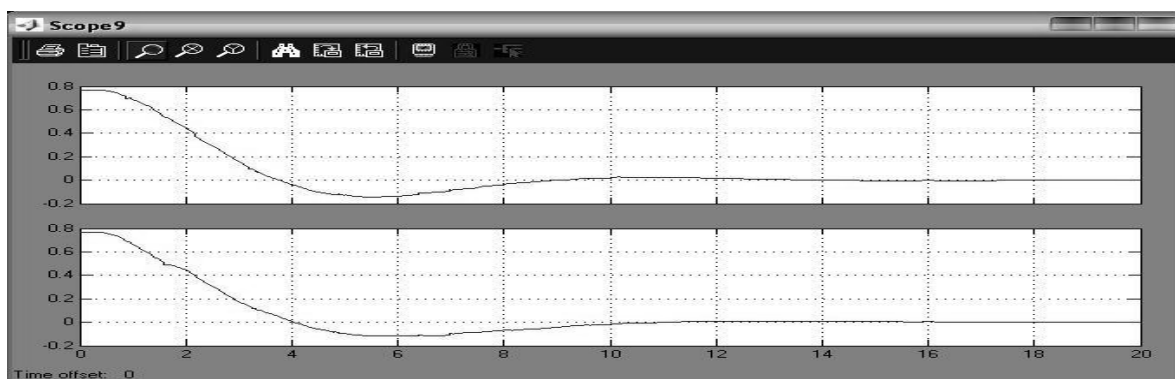


Рис. 6. Графики изменения ошибки регулирования

Принимаем достаточным такое приближение модели системы с линейным регулятором и системы с ШИМ-регулятором.

Вывод: в работе показано, что расчет настроек регулятора с широтно-импульсным модулятором в системах регулирования температуры с передаточной функцией вида  $W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} e^{-P\tau}$  можно проводить по методике расчета настроек линейного регулятора.

#### Список литературы

1. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. М.-Л., Госэнергоиздат.,1961.344с.
2. Глишков Г.М., Климовский М.Д. Основы теории автоматического управления металлургическими процессами. - М.: Металлургия,1985.-324с.
3. Глишков М.А., Глишков Г.М. Общая теория печей. — М.: Металлургия, 1978.— 264 с.
4. Г.М. Глишков, В.А. Маковский, С.Л. Лотман, М.Р. Жапировский. Проектирование систем автоматического контроля и регулирования металлургических процессов. –М.: Металлургия, 1986. — 352 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 681.5.015.3

© В.Л. Соседка, Р.А. Мазур

## МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД МОМЕНТОВ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНЫХ НЕПРЕРЫВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Усовершенствован метод моментов, применяющийся для идентификации параметров линейных непрерывных объектов. В результате сняты теоретические ограничения на вид передаточной функции объекта, формализован алгоритм идентификации.

Вдосконалено метод моментів, що використовується під час ідентифікації параметрів лінійних безперервних об'єктів. В результаті знято теоретичні обмеження щодо виду передавальної функції об'єкту, формалізовано алгоритм ідентифікації.

The «moments» technique, which uses for parameters identification of continuous-time linear objects, is modified. Theoretical limitations to object transfer function form are cleared; the identification algorithm is formalized as result.

Известно несколько фундаментальных методов [1-4], применяющихся для идентификации параметров передаточных функций линейных непрерывных объектов. Из них в инженерной практике наибольшее распространение получили методы, базирующиеся на Фурье-анализе частотных характеристик и метод моментов или «площадей». Основное достоинство метода моментов – исключительная простота. В тоже время ему присущ ряд недостатков: применение для ограниченного класса объектов, трудоемкость определения параметров передаточной функции, невысокая точность.

Действительно, аппроксимирующая передаточная функция  $W_A(s)$  может быть близка к истинной передаточной функции объекта  $W_0(s)$  только в том случае, когда особые точки функции  $W_0(s)$  находятся в круге сходимости, центр которого лежит в точке  $s = 0$ , а окружность проходит через ближайшую к центру особую точку функции  $W_0(s)$ . Если особые точки искомой передаточной функции лежат вне области сходимости, то невозможно получить хорошее приближение, независимо от числа привлеченных для аппроксимации функции  $W_A(s)$  моментов. То есть точность идентификации, в этом случае, не зависит от порядка аппроксимирующей передаточной функции. Поскольку расположение особых точек искомой передаточной функции априори неизвестно, классический метод моментов гарантирует хорошую аппроксимацию для узкого класса объектов.

Использование подстраиваемой модели упростило метод площадей, повысило его точность и позволило формализовать определение неизвестных параметров [5]. В то же время применение метода [5] ограничено объектами, передаточные функции которых не имеют нулей.

Целью данной работы является формализация процедуры идентификации параметров передаточных функций линейных непрерывных одномерных объектов, путем модификации метода моментов.

Известно, что любую нормированную передаточную функцию линейного непрерывного объекта можно привести к виду

$$W_0(s) = K_0 \frac{b_1 s^m + b_2 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s^2 + b_m s + 1}{a_1 s^n + a_2 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s^2 + a_n s + 1},$$

где  $s$  - оператор Лапласа.

Как продемонстрировано на рис.1, разность между входным ступенчатым воздействием с амплитудой  $u(\infty)$  и реакцией объекта на это же входное воздействие в пространстве сигналов определяется выражением

$$R_0(s) = U(s)(1 - W_0(s)) = U(s) \left( 1 - K_0 \frac{b_1 s^m + b_2 s^{m-1} + \dots + b_{m-1} s^2 + b_m s + 1}{a_1 s^n + a_2 s^{n-1} + \dots + a_{n-1} s^2 + a_n s + 1} \right),$$

где  $U(s) = \frac{u}{s}$  и  $R_0(s)$  - соответственно изображения входного и выходного сигналов.

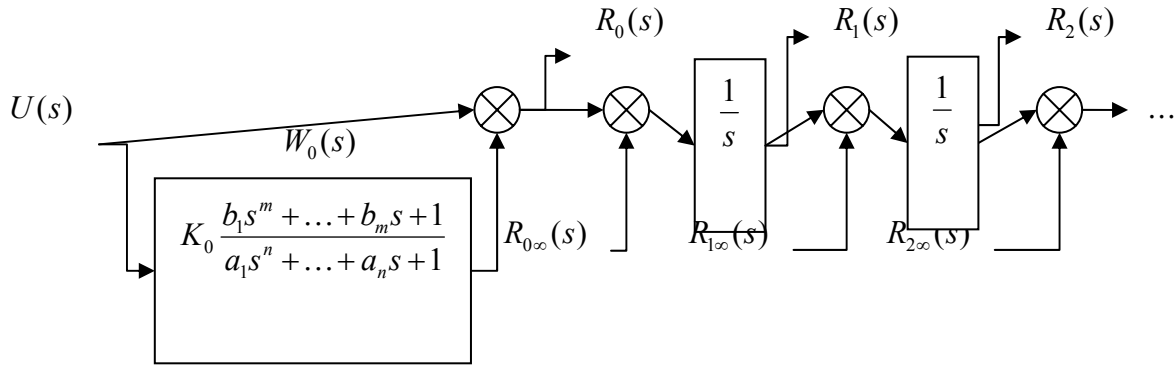


Рис.1. Структурная схема к определению моментов

Из последнего выражения, в соответствии с правилами [3] и теоремой о граничных значениях, величина разностного сигнала в установившемся режиме определяется по формуле

$$r_0(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sR_0(s) = u(\infty)(1 - K_0). \quad (1)$$

В свою очередь, в соответствии со структурной схемой (рис. 1), первый момент - интеграл разности изображений сигнала  $R_0(s)$  и единичного ступенчатого воздействия с амплитудой  $r_0(\infty)$  определяется выражением

$$\begin{aligned} R_1(s) &= \frac{R_0(s) - R_{0\infty}(s)}{s} = U(s) \frac{K_0}{s} \left( 1 - \frac{b_1s^m + b_2s^{m-1} + \dots + b_{m-1}s^2 + b_ms + 1}{a_1s^n + a_2s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s^2 + a_ns + 1} \right) = \\ &= U(s) K_0 \frac{a_1s^{n-1} + a_2s^{n-2} + \dots + a_{n-1}s + a_n - b_1s^{m-1} - b_2s^{m-2} - \dots - b_{m-1}s - b_m}{a_1s^n + a_2s^{n-1} + \dots + a_{n-1}s^2 + a_ns + 1}, \end{aligned} \quad (2)$$

где  $R_{0\infty}(s) = \frac{u(\infty)}{s}(1 - K_0) = U(s)(1 - K_0)$  - изображение единичного ступенчатого воздействия с амплитудой  $r_0(\infty)$ .

Выражение (2) позволяет получить формулу, связывающую коэффициенты  $a_n$  и  $b_m$  с первым моментом - установившимся значением сигнала на выходе первого интегратора

$$r_1(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sR_1(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{R_0(s) - R_{0\infty}(s)}{s} = u(\infty) K_0 (a_n - b_m). \quad (3)$$

Для того чтобы найти второй момент необходимо определить интеграл разности изображений сигнала  $R_1(s)$  (выход первого интегратора) и единичного ступенчатого воздействия с амплитудой  $r_1(\infty)$ . Второй момент - установившееся значение на выходе второго интегратора, в свою очередь, алгебраически связан с коэффициентами передаточной функции объекта  $a_n$ ,  $a_{n-1}$ ,  $b_m$  и  $b_{m-1}$



$$r_2(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sR_2(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{R_1(s) - R_{1\infty}(s)}{s} = u(\infty)K_0(-a_n^2 + a_{n-1} + a_n b_m - b_{m-1}). \quad (4)$$

Третий момент, в свою очередь, определяется интегралом разности изображений сигнала  $R_2(s)$  (выход второго интегратора) и единичного ступенчатого воздействия с амплитудой  $r_2(\infty)$ . Как следует из (4), третий момент алгебраически связан с параметрами передаточной функции  $a_n, a_{n-1}, a_{n-2}, b_m, b_{m-1}$  и  $b_{m-2}$

$$r_3(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sR_3(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{R_2(s) - R_{2\infty}(s)}{s} = u(\infty)K_0 f(a_n \dots a_{n-2}, b_m \dots b_{m-2}).$$

Несложно установить, что каждый последующий момент есть площадь, ограниченная сигналами предыдущего момента (выход предыдущего интегратора) и его же установившимся значением, а значение момента алгебраически связано с параметрами передаточной функции объекта

$$r_i(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} sR_i(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{R_{i-1}(s) - R_{i-1\infty}(s)}{s} = u(\infty)K_0 f(a_n \dots a_{n-i+1}, b_m \dots b_{m-i+1}).$$

Очевидно, что структурная схема для определения моментов, как показано на рис.1, должна состоять из последовательно включенных интеграторов, количество которых равно количеству неизвестных параметров передаточной функции объекта. Причем, на вход каждого последующего интегратора подается сигнал с выхода предыдущего интегратора, уменьшенный на величину его же установившегося значения.

Проиллюстрируем предлагаемый метод на примере идентификации параметров передаточной функции объекта 1-го порядка вида

$$W_{01}(s) = \frac{K_0}{a_1 s + 1}.$$

Структурная схема для определения моментов такого объекта представлена на рис.2. В соответствии с предлагаемым методом структурная схема содержит один интегратор.

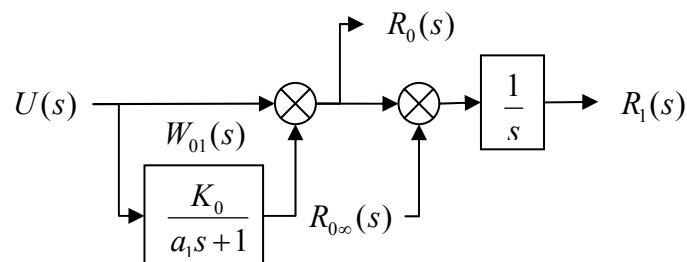


Рис.2. Структурная схема к определению моментов объекта 1-го порядка

Изображение момента  $R_0(s)$  в пространстве сигналов

$$R_0(s) = U(s) \left( 1 - \frac{K_0}{a_1 s + 1} \right) = U(s) \frac{a_1 s + 1 - K_0}{a_1 s + 1},$$

откуда значение момента  $r_0(\infty)$  в установившемся режиме

$$r_0(\infty) = u(\infty)(1 - K_0). \quad (5)$$

Изображение момента  $R_1(s)$  в пространстве сигналов, в соответствии с (3)

$$R_1(s) = \frac{R_0(s) - R_{0\infty}(s)}{s} = \frac{U(s)}{s} \left( \frac{a_1 s + 1 - K_0}{a_1 s + 1} - (1 - K_0) \right) = U(s) K_0 \frac{a_1}{a_1 s + 1},$$

откуда значение момента  $r_1(\infty)$  в установившемся режиме

$$r_1(\infty) = u(\infty) K_0 a_1. \quad (6)$$

Из выражений (6, 7) получаем коэффициент усиления объекта  $K_0 = 1 - \frac{r_0(\infty)}{u(\infty)}$  и

неизвестный коэффициент  $a_1 = \frac{r_1(\infty)}{u(\infty) K_0}$ .

То есть, для определения неизвестных параметров объекта 1-го порядка необходимо подать на его вход ступенчатое воздействие с произвольной амплитудой, снять переходную характеристику и обработать ее в соответствии с приведенной на рис.2 структурной схемой.

Далее продемонстрируем применение предлагаемого метода на примере идентификации параметров объекта 2-го порядка с передаточной функцией

$$W_{02}(s) = K_0 \frac{b_1 s + 1}{a_1 s^2 + a_2 s + 1}.$$

Структурная схема для определения моментов такого объекта представлена на рис.3. В соответствии с предлагаемым методом структурная схема должна содержать три интегратора – по количеству неизвестных параметров  $a_1$ ,  $a_2$  и  $b_1$ .

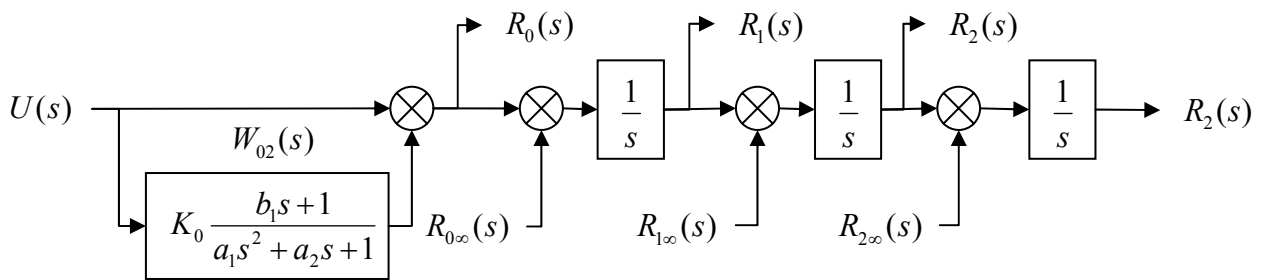


Рис.3. Структурная схема к определению моментов объекта 2-го порядка

Изображение момента  $R_0(s)$  в пространстве сигналов

$$R_0(s) = U(s) \left( 1 - K_0 \frac{b_1 s + 1}{a_1 s^2 + a_2 s + 1} \right) = U(s) \frac{a_1 s^2 + a_2 s - K_0 b_1 s + 1 - K_0}{a_1 s^2 + a_2 s + 1},$$

откуда значение момента  $r_0(\infty)$  в установившемся режиме

$$r_0(\infty) = u(\infty)(1 - K_0). \quad (7)$$

Изображение момента  $R_1(s)$  в пространстве сигналов

$$R_1(s) = \frac{R_0(s) - R_{0\infty}(s)}{s} = \frac{U(s)}{s} \left( \frac{a_1 s^2 + a_2 s - K_0 b_1 s + 1 - K_0}{a_1 s^2 + a_2 s + 1} - (1 - K_0) \right) =$$

$$= U(s) K_0 \frac{a_1 s + a_2 - b_1}{a_1 s^2 + a_2 s + 1},$$

откуда значение момента  $r_1(\infty)$  в установившемся режиме

$$r_1(\infty) = u(\infty) K_0 (a_2 - b_1). \quad (8)$$

Изображение момента  $R_2(s)$  в пространстве сигналов

$$R_2(s) = \frac{R_1(s) - R_{1\infty}(s)}{s} = \frac{U(s) K_0}{s} \left( \frac{a_1 s + a_2 - b_1}{a_1 s^2 + a_2 s + 1} - (a_2 - b_1) \right) =$$

$$= U(s) K_0 \frac{a_1 (b_1 - a_2) s + a_1 - a_2^2 + a_2 b_1}{a_1 s^2 + a_2 s + 1},$$

откуда значение момента  $r_2(\infty)$  в установившемся режиме

$$r_2(\infty) = u(\infty) K_0 (a_1 - a_2^2 + a_2 b_1). \quad (9)$$

Изображение момента  $R_3(s)$  в пространстве сигналов

$$R_3(s) = \frac{R_2(s) - R_{2\infty}(s)}{s} = \frac{U(s) K_0}{s} \left( \frac{a_1 (b_1 - a_2) s + a_1 - a_2^2 + a_2 b_1}{a_1 s^2 + a_2 s + 1} - (a_1 - a_2^2 + a_2 b_1) \right) =$$

$$= U(s) K_0 \frac{a_1 (-a_1 + a_2^2 - a_2 b_1) s + a_1 b_1 - 2a_1 a_2 + a_2^3 - a_2^2 b_1}{a_1 s^2 + a_2 s + 1},$$

откуда значение момента  $r_3(\infty)$  в установившемся режиме

$$r_3(\infty) = u(\infty) K_0 (a_1 b_1 - 2a_1 a_2 + a_2^3 - a_2^2 b_1). \quad (10)$$

Искомые параметры передаточной функции получаем в результате решения системы алгебраических уравнений (7-10)

$$\begin{cases} K_0 = 1 - \frac{r_0(\infty)}{u(\infty)}; \\ a_1 = \frac{r_2(\infty)^2 - r_1(\infty)r_3(\infty)}{r_1(\infty)^2 - u(\infty)K_0 r_2(\infty)}; \\ a_2 = \frac{r_1(\infty)r_2(\infty) - u(\infty)K_0 r_3(\infty)}{r_1(\infty)^2 - u(\infty)K_0 r_2(\infty)}; \\ b_1 = \frac{-r_1(\infty)^3 / (u(\infty)K_0) + 2r_1(\infty)r_2(\infty) - u(\infty)K_0 r_3(\infty)}{r_1(\infty)^2 - u(\infty)K_0 r_2(\infty)}. \end{cases}$$

Отметим, что в классическом варианте моменты - это коэффициенты разложения в ряд Тейлора функции  $W_0(s)$ . То есть, в последнем примере следовало бы определить три члена разложения: свободный член и коэффициенты при первой и второй производных. В предлагаемом же методе дифференцирование заменяется последовательным интегрированием. Это позволяет каждый раз оп-

ределять только свободный член ряда Тейлора, что упрощает алгоритм и повышает точность идентификации параметров.

На основе предлагаемого метода разработан рекуррентный алгоритм и реализованы имитационные модели для идентификации параметров передаточных функций различных объектов. Результаты моделирования подтвердили корректность теоретических положений предлагаемого метода.

Таким образом, поскольку предлагаемый модифицированный метод моментов достаточно просто формализуется, в нем сняты ограничения на вид передаточной функции объекта, он может быть применен для экспериментальной идентификации параметров передаточных функций реальных промышленных объектов.

#### Список литературы

1. Дейч, А.М. Методы идентификации динамических объектов [Текст] / А.М. Дейч – М.: Энергия. – 1979. – 240 с.
2. Балакирев В.С. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов [Текст] / В.С. Балакирев, Е.Г. Дудников и др. – М.: Энергия. - 1967. -232 с.
3. Гроп, Д. Методы идентификации систем [Текст] / Д. Гроп. – М.: Мир. – 1979. – 302 с.
4. Льюнг, Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: пер. с англ. [Текст] / Л. Льюнг. – М.: Наука. – 1991. – 432 с.
5. Соседка, В.Л. Определение коэффициентов дифференциальных уравнений объектов с использованием модели [Текст] / В.Л. Соседка, Р.А. Мазур // Гірничча електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. Зб. – 2006. – Вип. 76. – С. 92-99.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 004.942

© А.І. Купін, І.О. Музика

### **СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАПІЗНЮВАННЯ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ГІРНИЧОГО ВИРОБНИЦТВА**

У статті розглядаються питання ідентифікації параметрів запізнювання у технологічних процесах в умовах гірничого виробництва. Показана можливість визначення цих параметрів за допомогою кореляційного аналізу.

В статті розглядаються питання ідентифікації параметрів запізнення в технологічних процесах в умовах гірничого виробництва. Показана можливість визначення цих параметрів за допомогою кореляційного аналізу.

Questions of delay parameters identification of technological processes in the conditions of mining manufacture are considered in the article. Possibility of these parameters determination by correlation analysis is presented.

Сучасний рівень розвитку автоматизації виробництва характеризується підвищенням складності технологічних процесів (ТП), яке пов'язане з ускладненням існуючих завдань керування за рахунок нестационарних та нелінійних

об'єктів. Поступове підвищення вимог до якості керування, відсутність повного математичного опису деяких технологічних об'єктів, параметри яких змінюються в широких межах, вимагає застосування автоматизованих систем керування на основі сучасних інформаційних технологій (ІТ).

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Як відомо, більшість технологічних процесів гірничого виробництва характеризуються багатофакторністю, наявністю стохастичних збурень та значною інерційністю. Так, наприклад, при збагаченні залізної руди зміна гранулометричного складу на вході дробарки крупного дроблення зумовлює зміну фізико-механічних властивостей пульпи лише через декілька годин. У таких випадках системи безпосереднього керування процесами з фіксованими наперед визначеними параметрами настроювань вже не можуть забезпечити якісне керування з мінімальною похибкою. Тому сьогодні все більша увага приділяється дослідженню систем автоматизованого керування на базі адаптивних підходів. Такі системи дозволяють не просто реалізувати алгоритм традиційного регулятора, але й проводити оптимізацію параметрів технологічного процесу в режимі реального часу. Досягнення у галузі нейронних мереж, нечіткої логіки, генетичних алгоритмів із застосуванням паралельних обчислень слугують потужним засобом для створення спеціалізованих систем підтримки прийняття рішень (СППР). У гірничій галузі промисловості нашої країни сьогодні є гарні передумови для впровадження інтелектуальних СППР, які дозволять шляхом оптимізації параметрів підготовки гірничої маси в кар'єрі зменшити собівартість продукції підприємства. Так, за даними ДП «Науково-дослідний гірничорудний інститут» (НДГРІ), на Інгулецькому ГЗК за 2005 р. було висаджено понад 16 млн. м<sup>3</sup> гірської породи, при цьому її собівартість склала близько 5 грн./м<sup>3</sup> [1]. За попередніми розрахунками застосування СППР дозволить зменшити собівартість продукції підприємства на 2-3%, що зумовить економічний ефект близько 2 млн. грн. на рік.

У процесі аналізу техніко-економічних моделей різних переділів гірничого виробництва авторами було підтверджено висновок, що створення ефективної СППР не можливе без урахування запізнювання технологічних об'єктів. Слід зазначити, що запізнювання властиве не тільки окремим технологічним операціям, але і всьому підприємству в цілому як людино-машинній системі. Так, наприклад, один конвеєр довжиною 600 м створює запізнювання близько 5 хв. Поклавши у якості основного принципу роботи СППР ідентифікацію параметрів математичної моделі в режимі реального часу, постало завдання визначення часу запізнювання. Так, проводячи планування буро-вибухових робіт (БВР) в кар'єрі гірничо-збагачувального комбінату, оцінити їх ефективність та встановити питомі витрати на видобування руди можна лише після деякого терміну. Поточна гірська маса після вибуху досягне першої секції збагачення тільки через декілька днів, тому в межах цілого виробництва досить складно встановити, вхідні параметри БВР якого вибуху зумовили теперішні економічні показники виробництва.

**Аналіз досліджень та публікацій.** У розвиток теорії адаптивних та оптимальних систем керування значний внесок зробили роботи Д.А. Поспелова, Г.С. Нестерова, О.Г. Івахненка, Л.А. Растрігіна та інших відомих вітчизняних і зарубіжних вчених [2, 3]. Більшість підходів, які застосовуються для опису динамічних об'єктів керування із запізненням, ґрунтуються на апараті передаточних функцій, зокрема вигляду  $e^{-\mathcal{P}}$ . Ідентифікація параметрів математичних моделей статичних об'єктів проводиться методом групового урахування аргументів (МГУА), лінійним регресійним аналізом, нейромережевими підходами тощо. Способи визначення параметрів запізнювання при аналізі часових статистичних рядів можна знайти в джерелах [4, 5]. Досить ефективним методом є використання кореляційного аналізу. Проте існуючі підходи орієнтовані на задачі, в яких для аналізу береться 2-3 предикторні змінні, а задача ідентифікації математичної моделі БВР є багатофакторною і передбачає включення у регресійне рівняння понад 15 незалежних предикторів. Крім того, застосування сучасних засобів ІТ за рахунок точніших розрахунків дозволить проводити визначення параметрів запізнювання в умовах сильно зашумлених статистичних даних.

**Постановка завдання.** Виходячи з вищезазначеного, авторами було вирішено провести аналіз різних способів ідентифікації параметрів запізнювання у статичних багатопараметричних об'єктах керування. Для реалізації алгоритму за допомогою обчислювальних засобів необхідно встановити ступінь впливу шуму у статистичних даних на результати моделювання.

**Викладення матеріалу та результати.** На рис. 1 представлена узагальнена модель технологічного об'єкта із запізнюванням. Вектор вхідних параметрів  $X_i$  та критерій функціонування  $y_i$  фіксуються у технологічній базі даних (БД) з певною періодичністю, де  $i$  – номер запису у БД,  $N$  – загальний обсяг статистичної вибірки. Параметром запізнювання є змінна  $\Delta$ , яка показує, наскільки кроків вихід системи відстає від входу. Як видно з табл. 1, при  $\Delta=0$  запізнювання відсутнє, тому вхідному вектору  $X_i$  точно відповідає вихідний  $y_i$ , для  $\Delta=1$  при подачі на вхід об'єкта вектора  $X_i$  на виході спостерігається значення, зумовлене попереднім вектором  $X_{i-1}$ , тобто  $y_{i-1}$ . Така схема найбільш точно характеризує техніко-економічні дані, які описують декілька переділів виробництва, розподілених у просторі та часі.

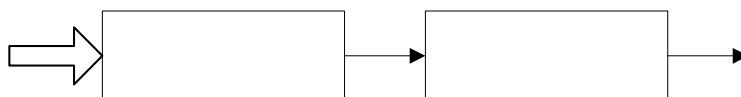


Рис.1. Модель технологічного об'єкта

Таблиця 1.

Відповідність вхідних параметрів об'єкта і вихідних при різному запізнюванні

Номер заміру $i$		1	2	3	4	...	$i$	...	$N$
Вектор вхідних параметрів		$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	...	$X_i$	...	$X_N$
Критерій функціонування (вихід об'єкта) при різному значенні параметра запізнювання	$\Delta=0$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	...	$y_i$	...	$y_N$
	$\Delta=1$	–	$y_1$	$y_2$	$y_3$	...	$y_{i-1}$	...	$y_{N-1}$
	$\Delta=2$	–	–	$y_1$	$y_2$	...	$y_{i-2}$	...	$y_{N-2}$

Більшість підходів до визначення параметра запізнювання  $\Delta$  у випадку однієї незалежної змінної ґрунтуються на застосуванні коефіцієнту кореляції Пірсона

$$R_{XY} = \frac{\text{cov}[X, Y]}{\sqrt{D[X]}\sqrt{D[Y]}}, \quad (1)$$

де  $\text{cov}[X, Y]$  – коваріація між вибіркою вхідної величини  $X$  та вихідної  $Y$ ;  $D[X]$ ,  $D[Y]$  – відповідні дисперсії. Проводячи зміщення ряду вихідної величини на значення  $\Delta$  можна отримати взаємкореляційну функцію у вигляді

$$R_{XY}(\Delta) = \frac{M[(X - M[X])(Y_\Delta - M[Y_\Delta])]}{\sqrt{D[X]}\sqrt{D[Y_\Delta]}}, \quad (2)$$

де  $Y_\Delta$  – зміщений ряд вихідної величини на  $\Delta$  кроків.

Як видно з формули (2), наявність шуму у статистиці об'єкта негативно позначається на коефіцієнті кореляції, оскільки збільшуються дисперсії  $D[X]$  і  $D[Y]$ . Хоча даний спосіб має ту перевагу, що значення кореляційної функції лежить у діапазоні  $[0; 1]$ , проте у випадку нелінійної залежності  $y=f(x)$   $R_{XY}$  приймає занижені значення.

На рис. 2 (а, б) представлені часові графіки відсоткової частки негабариту в кар'єрі  $\eta_H$ , що отримується після висадження гірської маси, та сумарних питомих витрат на видобування 1 т руди  $S_\Sigma$ . При цьому для побудови регресійної моделі даного процесу запізнювання  $\Delta$  знаходиться за абсолютним максимумом взаємкореляційної функції (рис. 2, в). Легко перевірити, що при  $\Delta = 3$  коефіцієнт детермінації лінійної апроксимації має найбільше значення  $R^2 \approx 0,3$  (рис. 2, г).

У випадку багатофакторних нелінійних об'єктів застосовується формула множинної кореляції

$$R_{X_1 X_2 \dots Y} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y(x_{1i}, x_{2i}, \dots, x_{mi}) - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2}}, \quad (3)$$

де  $\bar{y}$  – математичне очікування ряду  $Y$ ;  $y(x_1, x_2, \dots, x_m)$  – значення регресійної функції, що залежить від предикторів  $x_1, x_2, \dots, x_m$ . Виконуючи зміщення статистичного ряду  $Y$  відносно векторів  $X$ , можна отримати кореляційну функцію, подібну до формули (2). Проте для даної методики характерний той недолік, що для побудови залежності коефіцієнта кореляції  $R_{X_1 X_2 \dots Y}$  від параметра запізнювання  $\Delta$  потрібно спершу провести регресійний аналіз і одержати рівняння  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_m)$ . Це досить складно зробити, зважаючи на велику кількість незалежних змінних та відсутність інформації про їх роль у регресійному рівнянні. Розрахувати коефіцієнти кореляції, щоб потім включити змінні у модель, не вдасться, оскільки у технологічній статистиці ряди зміщені на невідомий параметр запізнювання  $\Delta$ . Тому авторами пропонується такий спосіб. Спершу для всіх пар  $X_i$  та  $Y$  будуються взаємкореляційні функції та проводиться їх аналіз на наявність екстремумів. Знаходиться найбільший екстремум відносно нуля і

визначається імовірне значення параметра запізнювання  $\Delta$ . Проаналізувавши всі предикторні змінні разом із залежною змінною  $y$ , формується масив найбільш імовірних значень  $\Delta$ . Для побудови регресійної моделі приймається значення запізнювання, що зустрічається найчастіше.

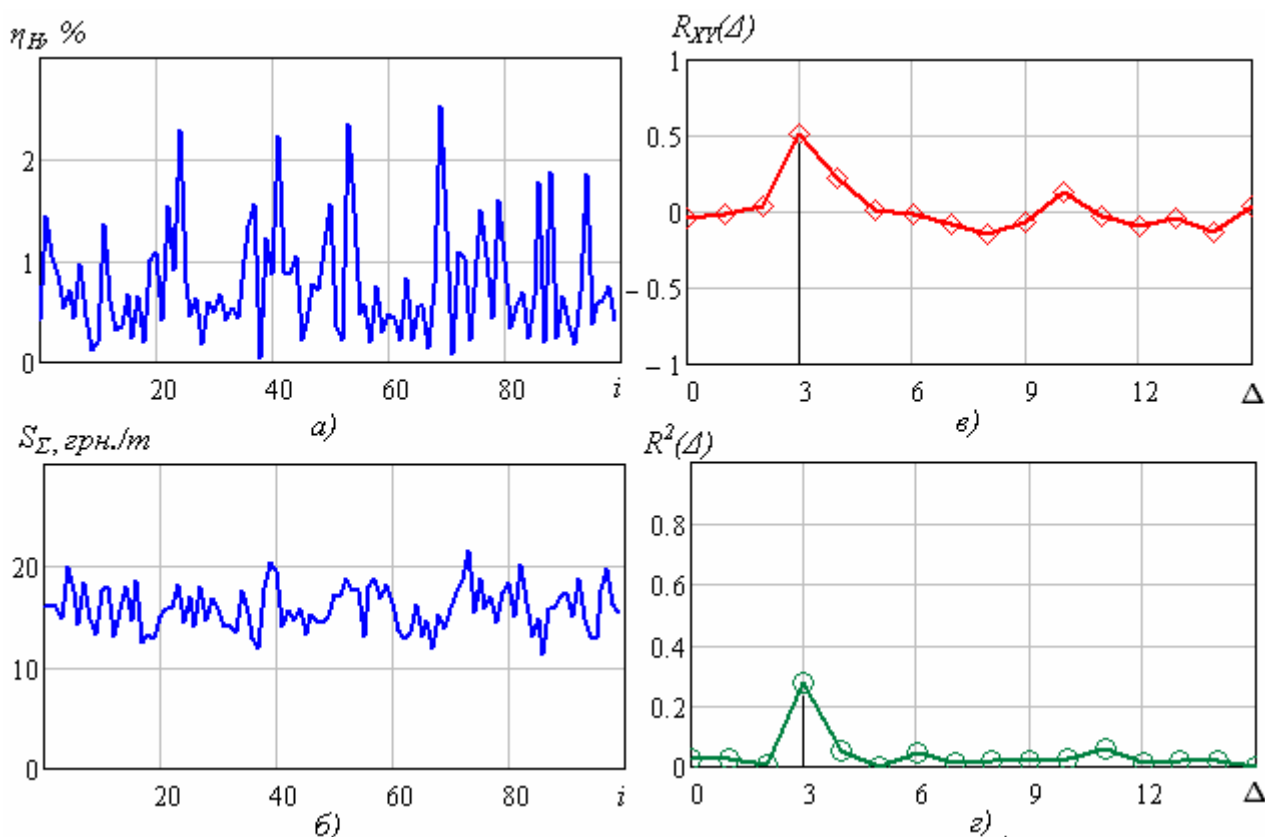


Рис.2. Результати ідентифікації параметра запізнювання: а) і б) графіки незалежної і залежної величини відповідно; в) взаємкореляційна функція; г) залежність коефіцієнта детермінації від параметра  $\Delta$

Для реалізації запропонованої методики за допомогою засобів обчислювальної техніки необхідно встановити межі допустимих похибок та оцінити збіжність пошуку екстремумів. Представимо вхідну величину статичного об'єкта у вигляді детермінованої та випадкової складової

$$\hat{x}_i = x_i + \varepsilon_i, \quad (4)$$

де  $\hat{x}_i$  – незалежна величина, яка вимірюється та заноситься до технологічної БД;  $x_i$  – дійсне значення вхідної величини;  $\varepsilon_i$  – адитивна похибка вимірювання. Так, наприклад, визначення гранулометричного складу в кар'єрі оцінюється фотопланіметричним методом і може мати суттєву похибку вимірювання (20–30%). Ступінь зашумленості даних оцінимо за допомогою відношення дисперсій сигнал/шум

$$k_{Ш} = \frac{D_C}{D_{Ш}} = \frac{D[X]}{D[\varepsilon]}. \quad (5)$$

На рис. 3 представлені графіки взаємкореляційних функцій для різного рівня зашумленості статистичних даних. Очевидно, що стабільність ідентифі-



кації значення запізнювання тим вища, чим чіткіше виражений екстремум на графіку  $R_{XY}(\Delta)$ . З цією метою введемо показник виразності екстремуму

$$\Theta = \frac{R_{\max 1}}{R_{\max 2}} \quad (5)$$

де  $R_{\max 1}$ ,  $R_{\max 2}$  – абсолютне значення першого та другого екстремуму на графіку функції відповідно. Таким чином, чим більше значення параметра  $\Theta$ , тим точніше можна визначити запізнювання  $\Delta$ , а у випадку коли  $\Theta \approx 1,0$  (рис. 3, б) однозначної відповіді дати не можна.

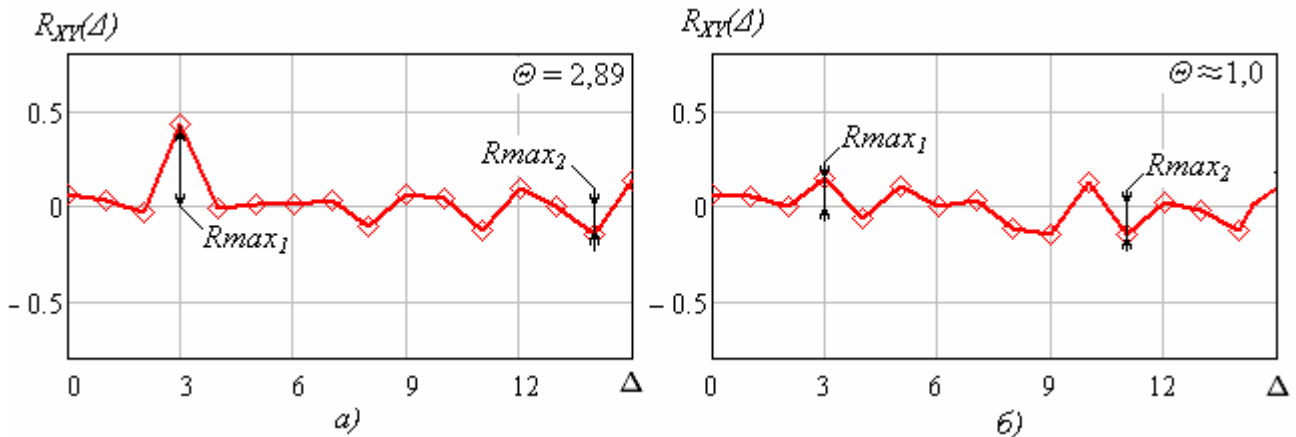


Рис.3. Графіки взаємкореляційної функції при різному рівні статистичного шуму: а)  $D_c/D_{ш} = 10$ ; б)  $D_c/D_{ш} = 0,1$

Як видно із залежностей (рис. 4, а), підвищення рівня статистичного шуму призводить до зменшення коефіцієнта виразності екстремуму на графіку кореляційної функції. Ця залежність близька до логарифмічної. Проте навіть при рівності дисперсій шуму та корисної складової ( $D_c/D_{ш} \approx 1$ ) запропонований спосіб дає прийнятний результат  $\Theta = 1,5-2,0$ . Залежність, наведена на рис. 4, б, показує, що точність лінійної регресійної моделі, побудованої із урахуванням визначеного параметра запізнювання ( $\Delta = 3$ ) теж інтенсивно спадає при зменшенні відношення  $D_c/D_{ш}$ .

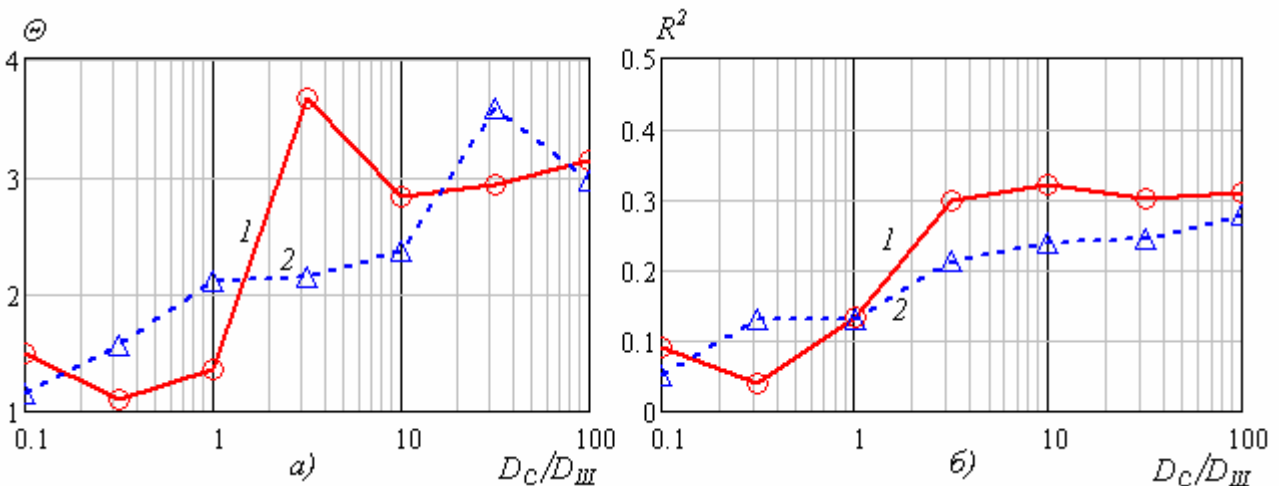


Рис.4. Вплив рівня шуму в статистичні вибірці на показник виразності (а) та коефіцієнт детермінації (б)

**Висновки.** Таким чином, було підтверджено необхідність врахування запізнювання при ідентифікації математичної моделі. Для статичних багатofакторних об'єктів найбільш доцільно проводити побудову парних взаємодіючих функцій між кожною предикторною та залежною змінними. За допомогою екстремумів кореляційної функції визначається параметр запізнювання статичних об'єктів розподілених у просторі та часі. Застосування даного методу дозволить проводити ідентифікацію запізнювання навіть при сильно зашумлених статистичних даних ( $D_C/D_{III} \geq 1$ ).

Подальші дослідження авторів будуть спрямовані на розробку ефективних алгоритмів реалізації запропонованого способу за допомогою паралельних обчислень.

#### Список літератури

1. Технично-економическіе показателі горнодобывающих предприятий Украины в 2004–2005 гг. / [Близнюков В.Г., Салганик В.А., Штанько Л.А., Русаненко П.А.]. – Кривой Рог: ГП «НИГРИ», 2006. – 122 с.
2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука. – Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 228 с.
3. Растрингин Л.А. Адаптация сложных систем. – Рига: Зинатне, 1981. – 375 с.
4. Кендал М. Многомерный статистический анализ и временные ряды / М. Кендал, А. Стьюарт; [пер. с англ. Э.Л. Пресмана, В.И. Ротаря]. – М.: Наука, 1976. – 736 с.
5. Гайдышев И.П. Анализ и обработка данных: специальный справочник / И.П. Гайдышев. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 621.182.3:621.926.004.2

© Pistun Ye., Zahray V. and Fedoryshyn R.

## **AUTOMATION AND OPTIMIZATION OF SOLID MATERIAL GRINDING BY MEANS OF BALL MILLS**

Рассмотрена система автоматического регулирования и оптимизации процесса измельчения твердого материала в шаровых барабанных мельницах. Система обеспечивает измерение основных параметров процесса измельчения и его оптимизацию. При применении системы гарантируется безопасная работа мельницы, повышается энергоэффективность процесса измельчения, а также увеличивается производительность мельницы.

Розглянута система автоматичного регулювання та оптимізації процесу розмелювання твердого матеріалу в кульових барабаних млинах. Система забезпечує вимірювання основних параметрів процесу розмелювання і його оптимізацію. При застосуванні системи гарантується безпечна робота млина, підвищується енергоефективність процесу розмелювання, а також збільшується продуктивність млина.

This work deals with the system for automated control and optimization of solid material grinding in ball mills. The system provides measurement of the main parameters of the technological process of grinding and optimization of this process. By applying the system the safe operation of a

ball mill is guaranteed, the energy efficiency of grinding is improved and the grinding capacity of the mill is increased.

### **Introduction**

The grinding of solid materials in ball mills is of great importance for a number of technological processes. The efficient operation of heat power stations (HPS) working on solid fuel (coal) depends on the efficiency of coal grinding in ball mills. In the same way the efficiency of clinker grinding in ball mills makes significant influence on the efficiency of cement plant operation. Grinding mills are big power consumers since grinding process is power-intensive. The electric power consumption for dust preparation at a HPS amounts to about 20 per cent of the total power consumption for own needs or, otherwise, about 2 per cent of the total amount of power produced [1].

The process of solid material grinding in ball mills has been automated poorly, because there were no methods to measure the main parameters of the grinding process, such as quantity of the solid material in a mill, grinding capacity and especially there were no methods to determine the pre-failure condition in which the mill is so much overloaded that it leads to abrupt decrease in its grinding capacity and to blockage. In order to prevent the failure of a mill the operators deliberately decrease the grinding output by feeding less raw material to the mill, which makes the grinding process more power-intensive and less efficient. There were no reliable methods to find the optimal loading of a mill in order to reach the maximum grinding capacity.

Many investigators, however, with a purpose of ball mill automation, have carried out experimental studies and established relations between the main technological parameters of the grinding process and a number of indirect indexes [2]. Based on these studies, various schemes for automation of ball mills have been proposed to regulate the outlet temperature of the air mixture, the differential pressure at the mill drum and the acoustic signal of the mill. But all those systems could not ensure the maximum possible grinding capacity and they did not prevent a possible blockage of the mill.

### **The aim of the paper**

The aim of this paper is to describe the developed system for automated control and optimization of solid material grinding by means of ball mills based on the system applied for automation and optimization of coal grinding.

### **The main material of the paper**

The maximum possible grinding capacity of coal grinding depends on the coal character (grain composition, grindability index, rock concentration, moisture content etc.), on the dust system characteristics (drying, ventilation and grindability) and on the amount of coal fed into the mill, on the coal feeding system and its regime [3]. The experience of using the systems developed earlier has put forward the task to improve them and to create new algorithms for calculation of actual values of the main technological parameters of the grinding process, including a new method to measure the quantity of coal in the mill. Another task was to develop new algorithms in order to optimize mill performance both under standard conditions and under constraints on drying and ventilation of the dust system. It was also necessary to take additional meas-

ures to provide safe operation of the mill and to try out failure situations. In order to fulfill all the above tasks an intellectual controller-optimizer was developed. The ball mill modeling has shown that depending on the coal and dust characteristics the maximum possible grinding capacity of the mill is reached at the level of 80 to 95 per cent of the maximum possible loading of the mill with the material being ground [4].

The maximum grinding capacity in operating conditions is sometimes constrained by dust drying and ventilation. The deficiency of the former may take place due to large moisture content in the material being ground relative to the nominal value or due to a drying agent temperature decrease. Low drying of the dust system is usually characterized by air mixture temperature decrease at the mill outlet below the minimum limit. Deficiency of ventilation may be caused by blockages of the inlet and outlet throats of the ball mill (the differential pressure at the mill drum exceeds the maximum limiting value).

When operating a ball mill it is especially important to avoid the exceeding of the maximum limiting temperature of the air mixture, which can result in an explosion of the dust system. Therefore the controller-optimizer provides a mechanism to prevent overheating of the air mixture. Additionally a sound alarm is provided to give a signal of a pre-failure situation with a possibility to interrupt the supply of a heating agent. In order to safeguard the dust system the precautionary measures are taken by the controller-optimizer to avoid the temperature going out of the specified range and to avoid the exceeding of the maximum limiting value of the differential pressure at the mill drum.

Due to a specially developed algorithm the controller adjusts automatically to the existing dust system, grindability of the mill and to the qualitative characteristics of the material being ground. As these parameters vary the controller adjusts automatically to regulate the material feeding so that the grinding capacity is always maximum.

The structural diagram of the ball mill automation and optimization system at coal grinding is shown in Fig. 1.

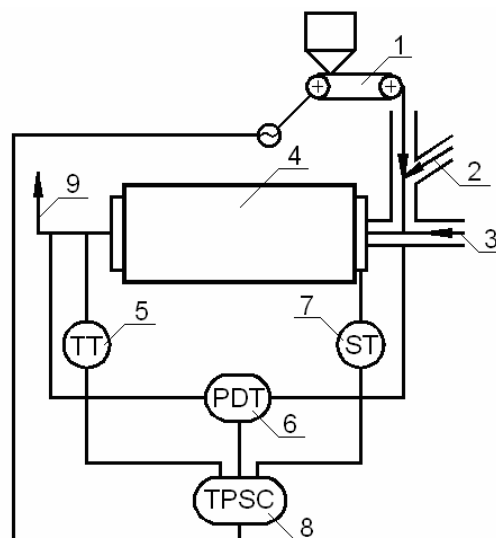


Fig. 1. Structural diagram of the ball mill automation and optimization system at coal grinding:

1 – raw coal feeder; 2 – back from separator; 3 – drying agent; 4 – ball mill; 5 – air mixture temperature transducer; 6 – differential pressure transducer; 7 – transducer of mill charging with material to be ground; 8 – controller-optimizer; 9 – to separator.

The piezoceramic accelerometer is mounted on the front bearing of the mill and it measures the vibration acceleration of the mill bearing which correlates directly with the mill loading with the material to be ground. The interrelation between these parameters is monitored by the controller-optimizer. A temperature transducer is applied to measure the temperature of the air mixture at the mill outlet. A differential pressure transducer is applied to measure the differential pressure at the drum of the mill.

The output signals of all the transducers are 4÷20 mA and they are attached to the appropriate analogue inputs of the controller-optimizer. A control key on the controller-optimizer switches the system to the manual control mode “Distance” or automatic control mode “Automatic”. The coal is fed into the mill by means of a raw coal feeder (RCF) controlled directly by the controller-optimizer. The controlling action of the controller-optimizer is performed by regulating the rotation frequency of the RCF drive (or switching on-off the RCF and changing the position of the RCF knife). The system is equipped with a controlling relay which is switched on by the controller-optimizer when the air mixture temperature exceeds the maximum limiting value in order to stop coal feeding and to ensure dust system safety. It is also equipped with a relay for light signaling of a sharp change (decrease) in the RCF productivity.

The values of air mixture temperature at the mill outlet, differential pressure at the mill drum and relative values of coal loading in the mill are displayed at the front panel of the controller-optimizer. Also the limits of air mixture temperature and the information on the current condition of the controller-optimizer are displayed. The minimum and maximum values of the air mixture temperature and of the differential pressure at the mill drum ( $T_{min}$ ,  $T_{max}$ ,  $\Delta P_{min}$ ,  $\Delta P_{max}$ ) are adjusted for each mill type and specific dust preparation system individually.

The main operation mode of the controller-optimizer is to ensure feeding into the mill such a quantity of raw coal at which the maximum possible grinding capacity of the mill is reached. The controller-optimizer switches to other modes when there are constraints on the mill’s drying or ventilation, as well as when pre-failure situations occur.

In addition to this, the mill operator’s panel is equipped with a signaling system for abrupt decrease in the raw coal feeder productivity (insufficient knife opening, presence of foreign material). This signaling and the signaling for exit of the parameters being measured beyond the feasible limits are on permanently irrespective of the controller-optimizer operation mode. When the system gets beyond the limiting conditions, the controller-optimizer switches to the dynamic optimization mode in search for an optimal coal loading of the mill.

When there are no constraints on the mill’s drying and ventilation and when there is no pre-failure situation the controller-optimizer operation mode is determined by the relative degree of mill loading. So when the relative degree of mill loading is less than 40%, the coal is fed into the mill continually at the maximum possible productivity of the RCF. In other cases coal is fed into the mill according to a special algorithm until the maximum value of coal loading degree is reached.

As the optimal value of the mill loading is reached, when the dust system operates at the maximum possible productivity, the controller-optimizer maintains this value as long as the technological process conditions do not change.

The productivity of RCF should be 1.5 - 2 times higher than the mill's grinding capacity. This is the main condition to ensure normal running of the technological process of coal grinding in the mill. When the RCF productivity is insufficient, the controller-optimizer operates in a non-standard mode which is characterized by a lower degree of mill loading. This, in its turn, results in an ineffective operation of the dust system.

Insufficient drying and ventilation of the mill are also limiting factors for reaching the maximum possible grinding capacity of the mill. When such constraints occur, optimization of mill operation is possible within the specified constraints.

The developed automation and optimization system was installed at a number of ball mills at heat power stations for grinding the coal, at cement plants for grinding the clinker and at ceramic plants for grinding the clay. One of the systems was installed at a heat power station with a 300 MW power generating unit where three ball mills were used for coal grinding. Application of the system provided improvement of grinding capacity of the mills in such a way that the capacity of two mills was enough for preparation of the fuel for the power generating unit and the third mill was turned off. This is how energy saving by 30 % at coal grinding was reached.

### **Conclusions**

The developed ball mill control and optimization system provides accomplishment of the following functions:

- Measurement and calculation of the actual values of the three main technological parameters: loading degree of the ball mill with the material being ground, air mixture temperature at the mill outlet and the differential pressure at the mill drum.

- Optimization of the grinding process including continuous search and stabilization of the ball mill loading degree by regulating the feeding into the mill in order to ensure the maximum possible grinding capacity of the mill.

- Continuous monitoring of drying and ventilation of the dust system, and in case of decrease of these parameters down to critical values – optimization of mill operation within allowable constraints.

- Visualization of controller operation modes, current values of the mill loading degree, the air mixture temperature at the mill outlet and the differential pressure at the mill drum, as well as minimum and maximum limits of the air mixture temperature and the differential pressure at the mill drum.

- Signalization of work and stops of RCF, occurrence of constraints on dust system drying and ventilation, exceeding of the maximum limiting temperature value of the air mixture, existence of pre-failure situations.

- Prevention of mill blockage by the material being ground.

- Guarantee of safe operation of the dust system in automatic mode.

Implementation of the system ensures a considerable increase in grinding capacity of a ball mill irrespective of the quality characteristics of the material being

ground and the dust system condition. It also consumes less power per unit weight of the material being ground.

#### References

1. Levit, G. (1991). *Production of dust at heat power stations*, Energoatomizdat, ISBN 5-283-00151-2, Moscow.
2. Romadin, V. (1953). *Production of dust*, Gosenergoizdat, Moscow.
3. Formusatin, V. (2008). Improving dust-system's performance with BTM, *Available from: <http://dustsystem.narod.ru>* Accessed: 2010-09-15.
4. Pistun, Ye., Zahrai, V. & Skobalo, A. (2002). Automatic control and optimization of ball mills, *Proceedings of VIII Forum of Power Engineers*, Technical University of Opole, May 29-31, 2002, ISBN 83-88492-04-7, Kabza, Z. (Ed.), pp. 575-581, Publ.House of Tech. Univ. of Opole, Opole (Poland).

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 622.232

© П.С. Познанский

### **МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОЧИСТНЫМ КОМПЛЕКСОМ, ОСНОВАННАЯ НА СЕТИ ПЕТРИ**

В статье рассматривается возможность применения аппарата сетей Петри при моделировании системы управления оборудованием очистного комплекса, основанная на методе логического синтеза поведенческой модели.

В статті розглянуто можливість застосування апарату сіток Петрі при моделюванні системи управління устаткуванням очисного комплексу, що заснована на методі логічного синтезу поведінкової моделі.

The article discusses the possibility of the use of Petri nets in the modeling of the system of management of equipment of coal-mining complex based on the method of logic synthesis of a behavioral model.

**Вступление.** Методы реализации сетей Петри можно разбить на два класса: программное обеспечение и аппаратная реализация. Реализация сети Петри в программном обеспечении представляет собой оценку сети с использованием программы на компьютере. Это получило широкое применение при моделировании и представлении проблем оценки.

Возможность реконфигурации во время выполнения позволяет использовать приемлемые алгоритмы, которые позволяют сократить время, необходимое для моделирования сети. Методы аппаратной реализации сетей Петри могут быть разделены на методы прямого преобразования и методы логического синтеза. Методы логического синтеза зачастую зависимы от проблемы использования состояния, потому что большинство современных систем обычно моделируются как параллельные. Методы прямого преобразования могут быть реализованы аппаратно.

В этой статье рассматривается возможность применения сетей Петри в системе управления оборудованием очистного комплекса, основанная на методе логического синтеза поведенческой модели.

**Постановка задачи исследований.** Для достижения поставленной цели необходимо:

- составить модель технологической схемы взаимодействия оборудования очистного забоя с использованием сетей Петри;
- выполнить анализ полученной модели с целью выявления ее качеств.

**Изложение основного материала.** Сеть Петри является абстрактным двудольным (т.е. имеет два типа вершин) биграфом, который описывается следующим сочетанием  $PN = (P, T, I, O, M_0)$ , где

$P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$  - конечное, непустое множество позиций;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_I\}$  - конечное, непустое множество переходов;

$I : \{P \times T\} \rightarrow N$  - входная функция, которая определяет направленные дуги из позиций в переходы;

$O : \{P \times T\} \rightarrow N$  - выходная функция, которая определяет направленные дуги из переходов в позиции;

$M_0 : P \rightarrow N$  - начальная маркировка;

$N$  - множество неотрицательных целых чисел.

При моделировании процессов принятия решений с помощью сети Петри [1, 2] ее позиции интерпретируют собой некоторые условия, состояния, значения переменных и т.д. Переходы интерпретируют собой логические предложения (принятие решений), соответствующие выполнению действий, при этом входные позиции – условия выполнения действий, выходные позиции – результат выполнения действий. Действие (переход) связано с принятием какого-либо решения, которое инициировано определенными условиями и результатом которого является новое состояние (условие).

Роль указателей мощности потоков выполняют метки. Формально метка – это знак выполнения соответствующего условия.

Таким образом, если осуществить начальную маркировку сети Петри, то использованием формальных правил можно описать логику работы системы и произвести анализ ее работоспособности. Переходы меток описываются графом достижимости, у которого каждой вершине соответствует определенная маркировка, а каждой дуге – переход, который срабатывает при данной маркировке.

Таким образом, граф достижимости представляется как

$$GD = (V, E)$$

где  $V$  – массив вершин (маркировок, соответствующих вершинам):

$$V = \{M_1, M_2, \dots, M_q\}$$

$M_i$  –  $i$ -я маркировка;

$q$  – количество маркировок;

$E = \{e_1, e_2, \dots, e_p\}$  – массив дуг, связывающих вершины ( $p$  – количество дуг).



С помощью графа достижимости могут быть определены свойства сетей Петри и, в конечном счете, моделируемой системы. К ним относятся:

- живость (отсутствие тупиковых состояний);
- ограниченность (сеть ограничена, если символ « $\omega$ » не входит ни в одну вершину графа);
- безопасность (сеть безопасна, если в метки вершин входят только «0» и «1») – физическая безопасность означает отсутствие зацикливаний;
- правильность (если сеть безопасная и живая, то она правильная);
- обратимость (сеть обратима, если в графе имеется хотя бы одна дуга, направленная к начальной маркировке  $M_0$ );
- пассивность переходов (переход  $t_i$  пассивен, если он не соответствует ни одной дуге графа);
- число возможных состояний  $N_c$ ;

Сеть Петри называется  $k$ -ограниченной, если в любом состоянии в любой позиции скапливается не более  $k$  фишек.

Любая система должна представляться правильной сетью.

При компьютерном синтезе системы управления от уровня сети Петри до уровня логической конструкции возникает вопрос адаптации модели сети Петри к модели ее аппаратной реализации. Модель системы управления рассматривается как множество выполняющих работу элементов с направленным потоком данных между ними. Соответствующая модель сети Петри содержит два типа элементарных процессоров  $P_i$  и  $T_j$ . Дуги, соединяющие их, представляют собой направленные потоки данных. Дуга из  $P_i$  в  $T_j$  обозначается как  $P_i \mapsto T_j$ , а дуга из  $T_j$  в  $P_i$  как  $T_j \mapsto P_i$ . При аппаратной реализации модели СП, потоки данных находятся в зависимости от топологии сети.

Аппаратная сеть Петри (HPN) – это объединение элементарных процессоров и потоков данных [4]

$$HPN = T \cup P \cup A^+ \cup A^- \cup A^S \cup A^T \cup A^I \cup P^{In} \cup P^{Out}$$

где  $T = \{T_1, T_2, \dots, T_I\}$ ,  $T \neq 0$  - множество переходов элементарных процессоров;

$P = \{P_1, P_2, \dots, P_N\}$ ,  $P \neq 0$  - множество позиций элементарных процессоров;

$A^+ = \{A_i^+, i = \overline{1, N}\}$ ,  $A^+ \neq 0$  - множество дуг  $T_j \mapsto P_i$ , которое представляет собой состояние, когда число меток в позиции увеличивается, которое определяется, как:

$$A_i^+ = \begin{cases} a_{ji}^+ = 1 | T_j \mapsto P_i & i = \overline{1, N}, j = \overline{1, L} \\ a_{ji}^+ = 0, otherwise \end{cases}$$

$A^- = \{A_i^-, i = \overline{1, N}\}$ ,  $A^- \neq 0$  - множество дуг  $T_j \mapsto P_i$ , которое представляет собой состояние, когда число меток в позиции уменьшается, которое определяется, как:

$$A_i^- = \begin{cases} a_{ji}^- = 1 | T_j \mapsto P_i & i = \overline{1, N}, j = \overline{1, L} \\ a_{ji}^- = 0, otherwise & \end{cases}$$

$A^S = \{A_j^S, j = \overline{1, L}\}$ ,  $A^S \neq 0$  - множество дуг состояния  $P_i \mapsto T_j$ , которое определяет состояние доступных срабатываний перехода  $T_j$ , отнесенное к маркировке позиции  $P_i$ , с которой соединена дуга. Это множество определяется, как показано ниже:

$$A_j^S = \begin{cases} a_{ji}^S = 1 | P_i \mapsto T_j & i = \overline{1, N}, j = \overline{1, L} \\ a_{ji}^S = 0, otherwise & \end{cases}$$

Дуги состояния соединяют входные позиции с переходами и имеют возможность определить наличие метки в позиции. Наличие дуги состояния, соединяющей входную позицию с переходом, означает что переход доступен только в том случае, если в входной позиции имеется метка. Срабатывание перехода меняет маркировку позиции, которая соединена разрешающей дугой.

$A^T = \{A_j^T, j = \overline{1, L}\}$ ,  $A^T \neq 0$  - множество тестовых дуг, которое имеет такие же функции, как и множество дуг состояния, но срабатывание не меняет маркировку в позиции, соединенной тестовой дугой.

$$A_j^T = \begin{cases} a_{ji}^T = 1 | P_i \mapsto T_j & i = \overline{1, N}, j = \overline{1, L} \\ a_{ji}^T = 0, otherwise & \end{cases}$$

$A^I = \{A_j^I, j = \overline{1, L}\}$ ,  $A^I \neq 0$  - множество ингибиторных дуг, которое обеспечивает функцию разрешения, когда позиции не содержат меток. Оно определяется, как показано ниже:

$$A_j^I = \begin{cases} a_{ji}^I = 1 | P_i \mapsto T_j & i = \overline{1, N}, j = \overline{1, L} \\ a_{ji}^I = 0, otherwise & \end{cases}$$

Ингибиторные дуги соединяют входные позиции с переходами и имеют возможность тестирования отсутствия меток в позиции. Наличие ингибиторной дуги, соединяющей входную позицию с переходом, означает, что переход разрешен, если во входной позиции нет меток. Срабатывание перехода не меняет маркировку позиции, с которой соединена ингибиторная дуга.

$P^{In} = \{P_j^{In}, j = \overline{1, L^{In}}\}$ ,  $P^{In} \notin P$  - множество элементарных процессоров  $P_j$ , которое представляет входные сигналы.

$P^{Out} = \{P_j^{Out}, j = \overline{1, L^{In}}\}$ ,  $P^{Out} \notin P$  - множество элементарных процессоров  $P_j$ , которое представляет выходные сигналы.

Элементарный процессор  $T$  подготавливает данные о выполнении операции. После анализа глобального состояния  $S^k = \{(m_i, P_i), \forall i = \overline{1, I}\}$  на шаге  $k$  обработки информации формируются условия выполнения шага  $k + 1$ .

Поведение элементарного процессора может быть описано следующим образом: если в каждой входной позиции перехода  $T$  есть метка, то выполняется условие срабатывания перехода  $T$ . В этом случае метки перемещаются из всех входных позиций во все выходные.

Элементарный процессор  $P$  выполняет оценку состояния и отражает операцию инкремента или декремента числа меток. Операция инкремент выполняется, когда один из входных переходов элементарного процессора  $P$  срабатывает. Операция декремент выполняется, когда один из выходных переходов элементарного процессора  $P$  срабатывает. Число меток в позиции  $P$  на шаге  $k + 1$ , обозначаемое как  $m_i^{k+1}$ , меняется в соответствии с правилами:

$$m_i^{k+1} = \begin{cases} m_i^k + 1 \mid \sum_{j=1}^{L_i^+} (A_{ij}^+) = 1, \forall m_i^k < m_i^{max} \\ m_i^k - 1 \mid \sum_{j=1}^{L_i^-} (A_{ij}^-) = 1, \forall m_i^k > 0 \\ m_i^k \mid \sum_{j=1}^{L_i^+} (A_{ij}^+) = 0 \ \& \ \sum_{j=1}^{L_i^-} (A_{ij}^-) = 0 \\ m_i^k \mid \sum_{j=1}^{L_i^+} (A_{ij}^+) = 1 \ \& \ \sum_{j=1}^{L_i^-} (A_{ij}^-) = 1 \end{cases}, \quad i = \overline{1, N}$$

Где  $m_i^k$  - число меток в  $P_i$  на шаге  $k$  обработки информации,  $L_i^+$  и  $L_i^-$  - суммарное число инкрементных и декрементных дуг в позицию  $P_i$ ,  $(m_i^{max} \forall i = \overline{1, N}) \notin M^{max}$  представляет собой максимальное число меток, которые могут находиться в  $P_i$ . Наилучшим вариантом реализации позиции является применение счетчика с логическим комбинаторным входом. В задачах моделирования сетей Петри очень важно знать точное количество меток в позиции. Когда модель аппаратной сети Петри работает, как управляющая система, является достаточным проверять наличие или отсутствие меток в позиции.

**Модель выполнения работ по выемке угля.** Очистная выемка характеризуется высокой цикличностью. Процессы и операции выемочного цикла можно отобразить как смену дискретных состояний во времени при выполнении некоторых условий. Следовательно, этот процесс можно представить сетью Петри. В качестве примера рассмотрим технологическую схему, представленную на рис. 1.

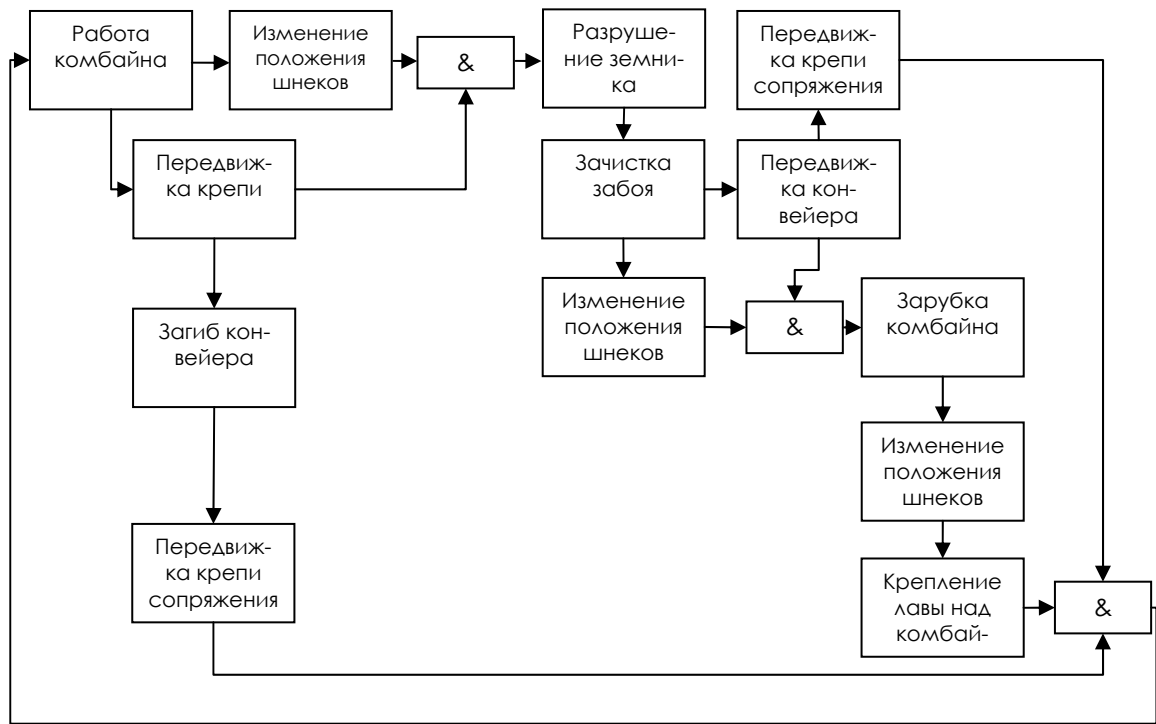


Рис. 1. Технологическая схема

Очистные работы в длинном забое можно рассматривать как большую систему. Основой больших систем является принцип агрегатизации - переход от проектирования жёсткой структуры к набору автономных функциональных блоков, из которых komponуются системы произвольной структуры. Учитывая всё многообразие технологических схем, можно построить общую модель из универсальных типовых модулей, отображающих перечисленные процессы. Причём должны быть учтены условия последовательности и совмещения во времени ряда операций.

Технологическая схема, представленная на рисунке 1 описывает одностороннюю работу комбайна с самозарубкой косым заездом, последовательной передвижкой секций крепи и двумя секциями крепи сопряжения [3].

Эквивалентная схема, выполненная при помощи сети Петри, представлена на рисунке 2.

Полученная модель имитирует последовательность выполнения операций в очистном забое и может быть представлена, как сетевой контроллер для управления оборудованием очистного забоя.

Для анализа полученной сети будем использовать программу Pipe 2.5, которая позволяет проводить полный анализ сетей Петри.

Граф достижимости полученной сети показал следующие свойства:

*Сеть живая.* Означает отсутствие тупиковых состояний системы, другими словами в модели нет такого перехода, который не может быть запущен. Отсутствие тупика в модели означает, что все условия и события модели согласованы и взаимосвязаны. Если система моделируется живой сетью, то в системе отсутствуют состояния, после которых дальнейшие действия невозможны.

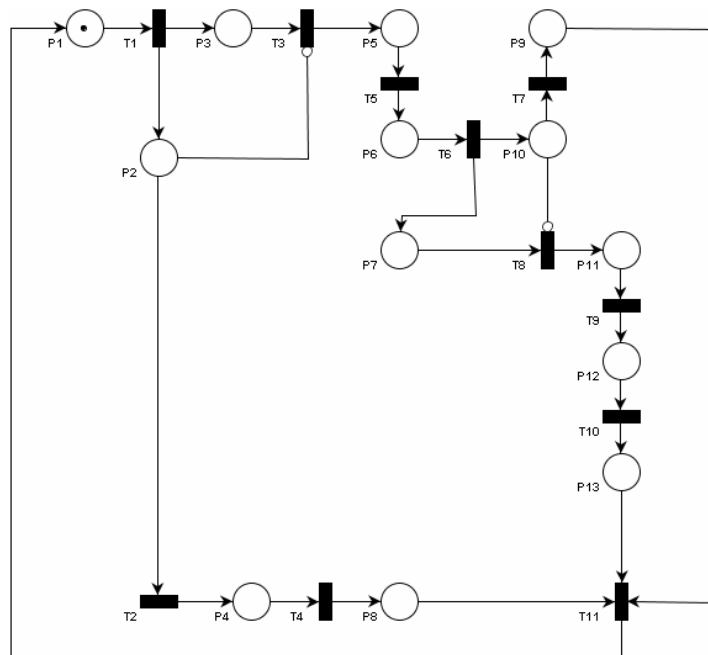


Рис. 2. Технологическая схема, выполненная с использованием сети Петри

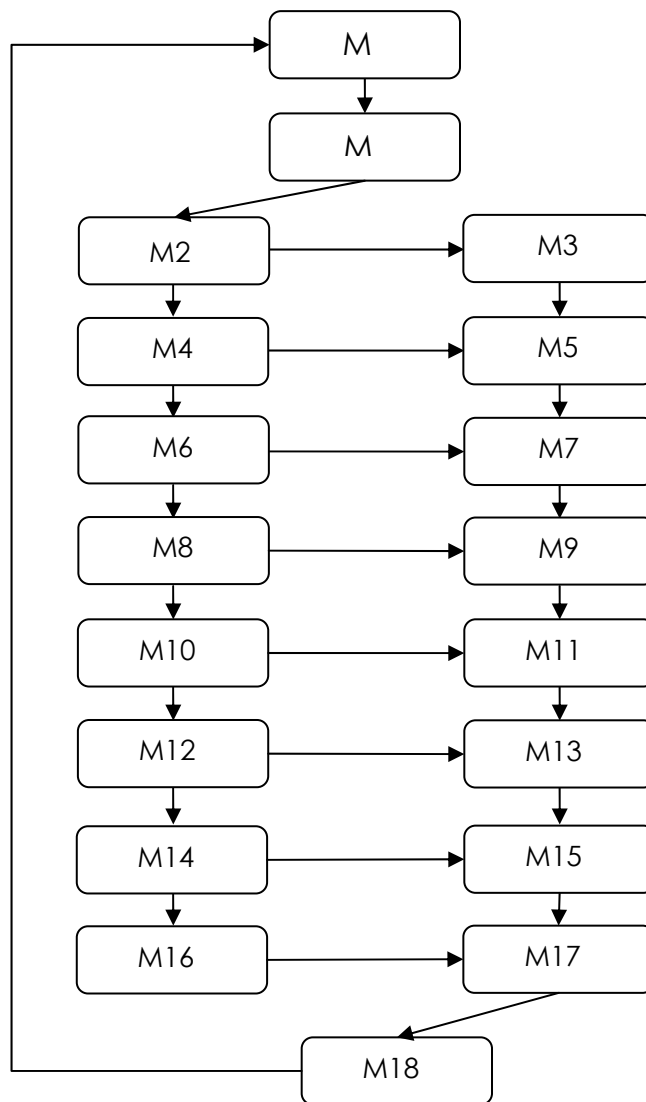


Рис. 3. Граф достижимости полученной модели

Таблица достижимости маркировок сети Петри

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13
S0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
S2	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
S3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
S4	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
S5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
S6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
S7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
S8	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1
S9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
S10	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
S11	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0
S12	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S13	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S14	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S15	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
S16	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0
S17	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
S18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Отсутствие живости означает либо избыточность аппаратуры в проектируемой системе, либо свидетельствует о возможности возникновения зацикливаний, тупиков, блокировок.

*Сеть ограниченная.* Под ограниченностью понимают свойство сети не допускать превышения количества фишек в конкретной или произвольной позиции некоторого фиксированного числа.

Сеть ограничена, если символ « $\omega$ » не входит ни в одну вершину графа. В нашем случае сеть 1-ограниченна.

*Сеть безопасная.* Сеть безопасна, если в метки вершин входят только «0» и «1». Условие, будучи логическим высказыванием, либо истинно (представляется меткой в позиции) либо ложно (представляется отсутствием метки). Таким образом, если интерпретировать сети, как условия и события, маркировка каждой позиции должна быть безопасной. Физически безопасность означает отсутствие зацикливаний;

*Сеть правильная.* Если сеть безопасная и живая, то она правильная;

*Сеть обратимая.* Сеть обратима, если в графе имеется хотя бы одна дуга, направленная к начальной маркировке  $M_0$ .

**Заключение.** В данной статье рассмотрен подход применения сети Петри при конструировании системы управления оборудованием очистного забоя. Применение сетей Петри позволяет совместно выполнять различные задания,

такі як, к прикладу, синтез, виконання перевірки і оцінки продуктивності в межах єдиної структури моделювання. Основні якості моделі (досяжність, живучість, оборотність) аналізується з використанням програмного забезпечення Ріре 2.5. Апаратна реалізація мереж Петри може бути виконана на мікросхемах ПЛІС (програмуємі логічні інтегральні схеми). Перевага ПЛІС-технології складає в тому, що структура зв'язей, властива опису мережі Петри, може бути гнучко зображена в структурі ПЛІС [4]. Цей метод може бути застосований для синтезу регулятора системи управління очисним забоем.

#### Список літератури

1. Лескін А.А., Мальцев П.А., Спиридонов А.М. Мережі Петри в моделюванні і управлінні. - Л.: Наука, 1989. -133 с.
2. Котов В.Е. Мережі Петри. – М.: Наука. Головна редакція фізико-математическої літератури, 1984. – 160 с.
3. Технологічні схеми очисних і підготовчих робіт на вугільних шахтах. Міністерство вугільної промисловості СРСР. – М.: Недра, 1978. – 288с.
4. V. Sudacevschi, V. Ababii Control system Design based on Petri nets // Науковий вісник Чернівецького університету 2008. Випуск 423. Фізика. Електроніка. стр 60-66

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 65.011.56:622.7.05

© В.В. Тронь

## **ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДУ АДАПТИВНОГО КЕРУВАННЯ БУНКЕРНИМ ЖИВЛЕННЯМ КОМПЛЕКСУ ПАРАЛЕЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ РУДОЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ**

Наведено результати дослідження системи керування бункерним живленням комплексу паралельних технологічних ліній РЗФ на основі багатокритеріальної оптимізації і обґрунтовано можливість адаптивного керування даним процесом шляхом корегування коефіцієнтів відносної важливості частинних критеріїв.

Приведены результаты исследования системы управления бункерным питанием комплекса паралельных технологических линий РЗФ на основе многокритериальной оптимизации и обоснована возможность адаптивного управления данным процессом путем корректирования коэффициентов относительной важности частных критериев.

Results of researches of parallel technological lines hopper-supply process control system based on multicriteria optimization were showed. Way of adaptive control by tuning relative importance coefficient of partial criteria was proposed.

**Вступ.** Рівень економіки України багато в чому обумовлюється рівнем розвитку підприємств гірничо-металургійного комплексу. Продукція українських гірничо-збагачувальних комбінатів і металургійних підприємств становить майже третину доходів вітчизняного експорту. Разом з тим за останні десятиліття якість залізородної сировини має негативну динаміку. У зв'язку з цим

значний її обсяг не може бути перетворено у товарний продукт, що відповідає кондиціям на сировину для металургійної переробки або для безпосереднього використання як готового матеріалу. Результати наукових досліджень провідних українських і зарубіжних науковців говорять перспективним напрямком підвищення ефективності функціонування технологічних процесів збагачення є автоматизація процесу керування бункерним живленням комплексу паралельних технологічних ліній рудозбагачувальної фабрики (РЗФ) на основі підходів інтелектуального, оптимального і адаптивного керування.

До основних проблем керування бункерним живленням комплексу паралельних технологічних ліній РЗФ відноситься, зокрема, забезпечення безперебійного живлення технологічних ліній залізородним матеріалом. Наприклад, в умовах Полтавського ГЗК [1] втрати від нестабільної роботи збагачувального обладнання становлять близько 170 тис. грн. на рік. Також, актуальною є проблема стабілізації якісних характеристик потоків матеріалу, що надходять на збагачення. Зокрема, при зростанні амплітуди коливань вмісту заліза у вхідному потоці матеріалу з 1% до 3% вміст заліза у хвостах збільшується на 1,5%; при збільшенні показника частоти коливань (коефіцієнту затухання кореляційної функції) з 1 до 2, вміст заліза у хвостах збільшується на 0,3% до 16,7% при інших рівних умовах.

На сьогодні використовуються наступні підходи до керування процесом бункерного живлення. Згідно пошукової системи «за викликом з прогнозуванням» [2] визначення наступного відсіку бункера для завантаження здійснюється виходячи із мінімізації обсягу матеріалу, котрий витече з інших відсіків, протягом завантаження вибраного відсіку бункера. Проте, при цьому не враховуються якісні характеристики вхідного потоку матеріалу. У [1] вибір оптимальної точки завантаження здійснюється за декількома критеріями: обсяг матеріалу у відсіку має бути мінімальним, відстань від поточного положення пересувного завантажувального пристрою (ПЗП) до наступного має бути мінімальною, середньозважене значення вмісту компоненту у кожному відсіку має знаходитись у заданих межах, котрі відповідають оптимальному налаштуванню збагачувального обладнання відповідної секції збагачення. Схожий метод запропоновано у [3], де розподіленні вхідного потоку матеріалу у відсіки запропоновано здійснювати за його показником якості («сортом») з використанням критерію мінімуму дисперсії за кожним сортом. У праці [4] було обґрунтовано доцільність керування бункерним живленням за декількома нерівнозначними частинними критеріями. Для урахування стохастичної нестабільності впливів збурення запропоновано [5] здійснювати двоетапне керування даним процесом, згідно якого завдання щодо обсягів і якісних характеристик матеріалу у відсіках формуються на етапі попереднього планування і є вхідними параметрами для системи оперативного керування.

**Постановка завдання.** У більшості розглянутих робіт керування пропонується здійснювати за декількома частинними критеріями, проте, на нашу думку, недостатньо уваги приділяється впливу відносної важливості частинних критеріїв керування на результати роботи системи. Метою даної роботи є дослідження



впливу відносної важливості частинних критеріїв на ефективність керування бункерним живленням комплексу паралельних технологічних ліній і обґрунтування методу адаптації системи оперативного керування даним процесом.

**Викладення основного матеріалу досліджень.** Для вирішення поставлених завдань автоматизовану систему керування бункерним живленням було представлено як багатомірний об'єкт, вхідними параметрами якого є коефіцієнти відносної важливості частинних критеріїв, а вихідними значення відповідних частинних критеріїв на інтервалі попереднього планування (робочої зміни). В даній роботі розглядається система керування із трьома входами і трьома виходами, як це видно на рис. 1.



Рис. 1. Узагальнена схема керування бункерним живленням

При цьому використовуються такі частинні критерії: мінімізація розкиду обсягів матеріалу у відсіках бункера ( $E_M$ ), мінімізація відхилення вмісту корисного компонента для кожного відсіку від заданого значення ( $E_q$ ), що допускає оптимальне налаштування технологічного збагачувального обладнання, мінімізація відстані переміщення завантажувального пристрою ( $E_L$ ). Для дослідження властивостей системи керування бункерним живленням згідно схеми, див. рис. 1, було побудовано її «вторинну модель» за результатами повного факторного експерименту з використанням комп'ютерної моделі. При цьому, у діапазоні нормованих вхідних сигналів ( $[0,1]$ ) було виділено три рівні: 0,1; 0,5; 1,0. Для апроксимації результатів експерименту було використано нейронну мережу прямого розповсюдження зі зворотним поширенням помилки (Feed-Forward Back-Propagation). При цьому кількість нейронів у вхідному шарі становила – 3, у прихованому – 10, у вихідному – 3.

Досліджувана система, як це видно на рис. 1, відноситься до типу «декілька входів декілька виходів» (MIMO), тому результати моделювання представлено у тривимірному просторі окремо за кожним виходом, при цьому змінювались значення двох коефіцієнтів відносної важливості, а значення третього залишалось сталим і таким, що відповідає найменшому рівню - 0,1. Окремі приклади графічного представлення отриманих залежностей наведено на рис. 2.

Користуючись отриманими залежностями, котрі частково наведені на рис. 2, апроксимованими за допомогою нейронної мережі було запропоновано схему системи оптимізації процесу керування бункерним живленням із використанням інверсної нейронної мережі, як це видно на рис. 3. Така система оптимізації формує значення коефіцієнтів відносної важливості частинних критеріїв

на основі аналізу інформації про стан об'єкту керування, впливи збурення і задання систем вищого рівня.

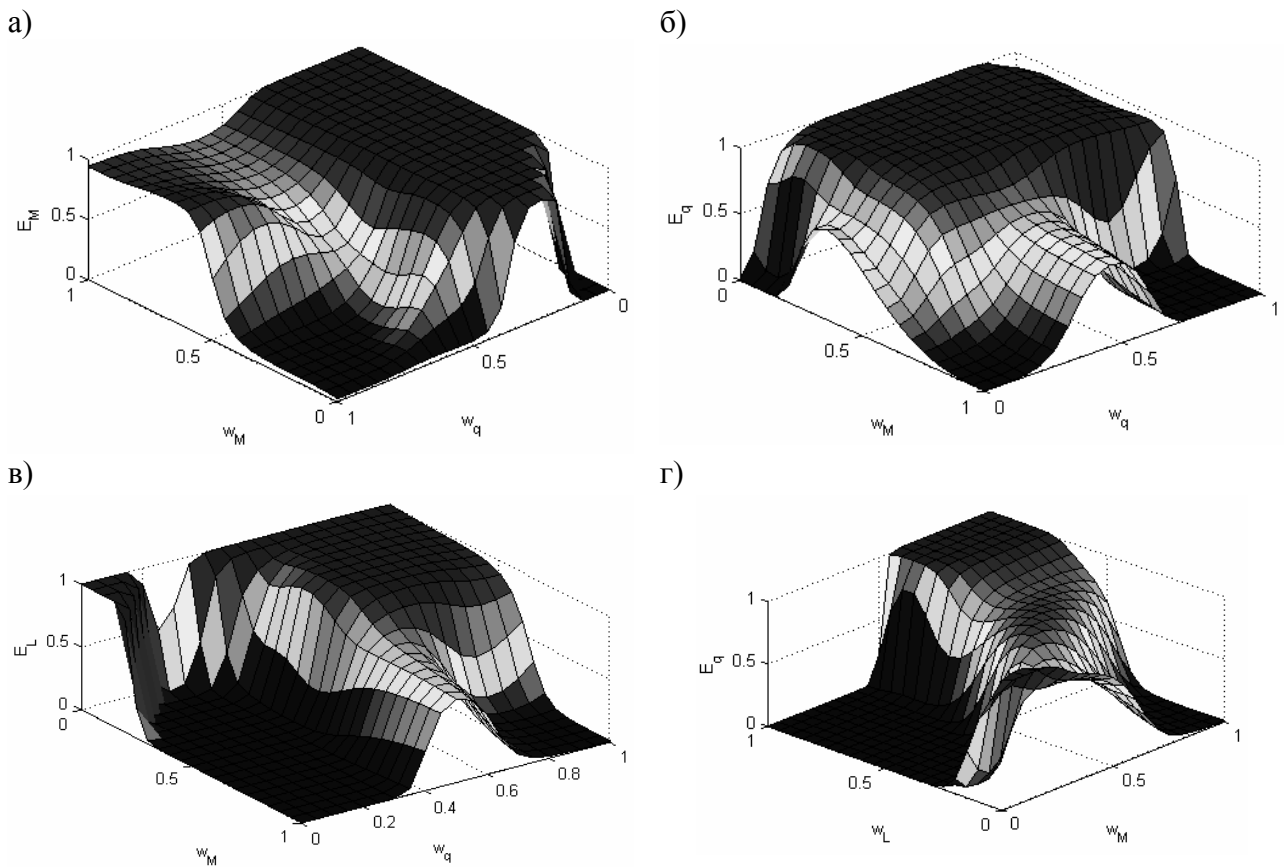


Рис. 2. Залежність значення частинного критерію рівномірності рельєфу матеріалу від коефіцієнтів відносної важливості частинних критеріїв ( $E_M=f(w_M, w_q)$  - а);  $E_q=f(w_M, w_q)$ - б);  $E_L=f(w_M, w_q)$ - в);  $E_q=f(w_L, w_M)$ - г))



Рис. 3. Узагальнена схема системи адаптивного керування процесом бункерного живлення

Впливами збурення, див. рис. 3, є: продуктивність ( $G$ ) і вміст корисного компонента ( $q_G$ ) у вхідному потоці матеріалу, продуктивність вихідних потоків відсіків бункера ( $[Q]$ ), а також початкові значення обсягу матеріалу ( $[M_0]$ ) і вмісту корисного компонента ( $[q_0]$ ) у відсіках. Уставки: бажаний обсяг матеріалу ( $[M^{(u)}]$ ) і вміст корисного компонента ( $[q^{(u)}]$ ) у відсіках бункера, коефіцієнти відносної важливості частинних критеріїв керування ( $[w]$ ). Підсистему оптимізації коефіцієнтів відносної важливості доцільно реалізувати з використанням технології інтелектуального керування, нейронних мереж та нечіткої логіки.

Узагальнену схему реалізації системи керування бункерним живленням із використанням розглянутих методів наведено на рис. 4.

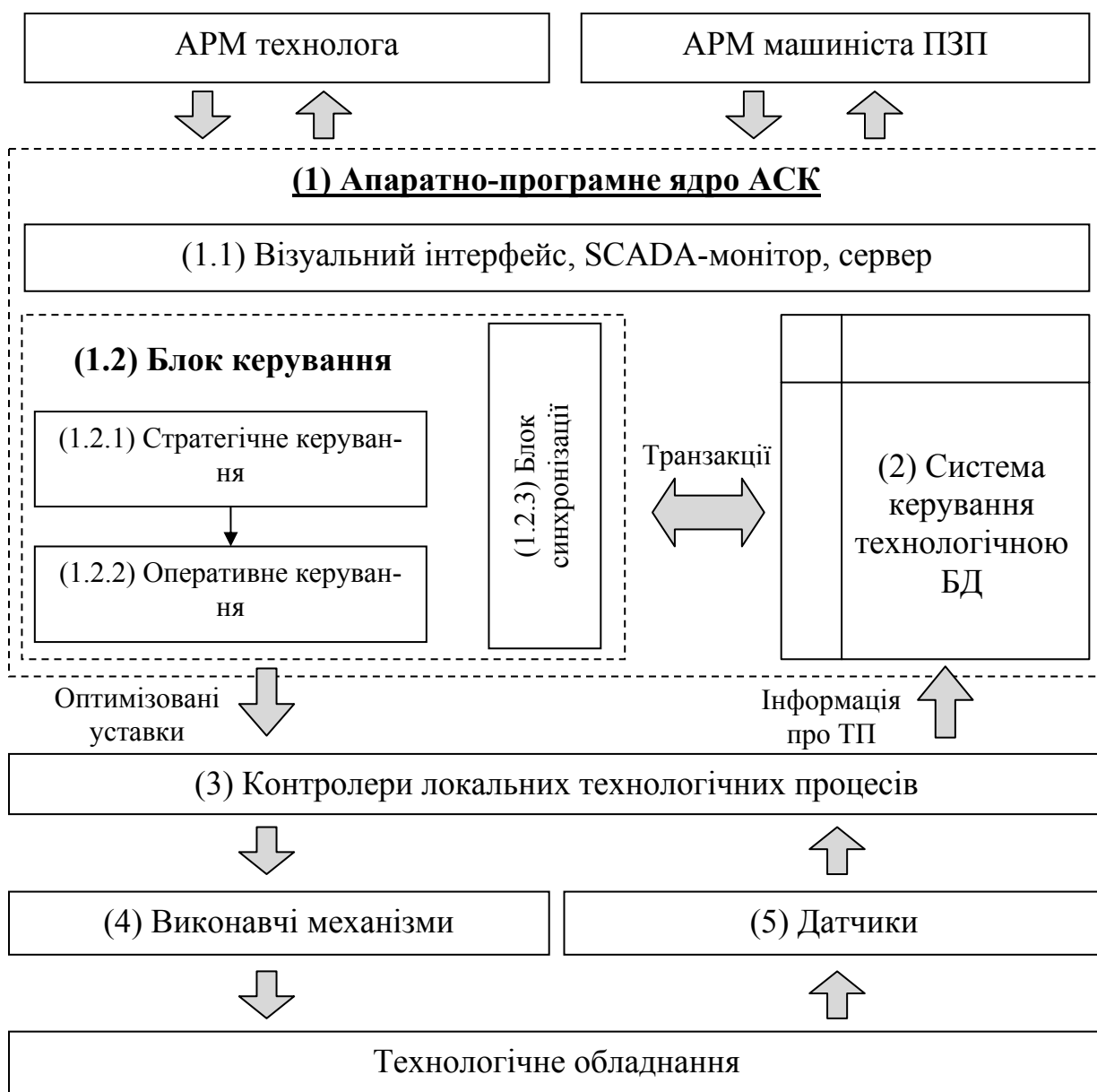


Рис. 4. Узагальнена структурна схема реалізації системи керування бункерним живленням

Основним елементом системи керування є її програмно апаратне ядро (1), як це видно на рис. 4. До його складу входять такі елементи. Візуалізація динаміки технологічного процесу, введення та моніторинг бажаних значень керованих параметрів (уставок), формування звітної документації про перебіг технологічного процесу (1.1) забезпечується за допомогою візуального інтерфейсу користувача, SCADA-монітору, серверної частини. Найбільш поширеним способом реалізації подібних систем є архітектура «клієнт-сервер». Клієнтами в даному випадку можуть виступати автоматизовані робочі місця фахівців, а саме, оператора-технолога, машиніста ПЗП. Для реалізації серверної частини доцільно використовувати сучасні розробки з підвищеними вимогами до захищеності від шкідливих впливів та надійності зберігання інформації. Обмін інформацією між розподіленими елементами даної системи доцільно здійснювати за допомогою промислових мереж, наприклад, CAN, Interbus, Profibus, Fipio, Modbus (Plus), Unitelway, Fipway, Ethway.

Призначенням блока керування (1.2) є стратегічне планування на інтервалі робочої зміни та оперативне формування уставок для локальних систем автоматизованого регулювання. Тому, у ньому можна виділити відповідні елементи (1.2.1) стратегічного керування та (1.2.2) оперативного керування. Елементи блоку керування реалізуються програмно. Також, для актуалізації інформацій про перебіг технологічного процесу шляхом опитування датчиків локальних систем керування з непохідною дискретністю і внесення поточних відомостей до бази даних технологічного процесу до складу блока керування введено блок синхронізації (1.2.3), котрий може бути програмо реалізований з використанням засобів SCADA. Призначенням системи керування технологічної бази даних (2) є накопичення, резервування та зберігання інформації про динаміку параметрів технологічного процесу. На сьогодні широко вживаними є такі промислові СУБД: MS SQL, Industrial SQL, ORACLE, Informix. Для керування локальними технологічними процесами використовуються контролери локальних САР, датчики та виконавчі механізми (3-5).

**Висновки.** Обґрунтовано використання адаптивного принципу оптимізації системи керування процесом бункерного живлення. На основі отриманих залежностей між значеннями частинних критеріїв ефективності і коефіцієнтів відносної важливості розроблено схему адаптивної системи керування бункерним живленням комплексу паралельних технологічних ліній рудозбагачувальної фабрики.

#### Список літератури

1. Константинов Г. В. Разработка системы управления качеством железорудного сырья при переработке: дис. ... кандидата. техн. наук: 05.15.11 / Константинов Григорий Викторович. – Кривой Рог, 2000 – 180 с.
2. Єременко Д. В. Підвищення ефективності автоматизованих систем керування потоками сипких матеріалів в умовах їх нестабільності : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.07 «Автоматизація технологічних процесів» / Д. В. Єременко. – Запоріжжя, 2004. – 20 с.
3. Назаренко В. М. Математические модели сортировки / В. М. Назаренко, В. Н. Шепеленко // Известия вузов. Горный журнал. – 1987. - №5. – С. 98-104.

4. Тронь В. В. Керування завантаженням багатосекційної ємності на основі нечіткого аналізу багатокритеріальних варіантів / В. В. Тронь // Сборник научных трудов «Новое в технологии и технике переработки минерального сырья». – 2010. – С. 249-262.

5. Тронь В. В. Автоматизоване двоетапне керування процесом бункерного живлення паралельних технологічних ліній в умовах невизначеності / В. В. Тронь // Науковий вісник Чернівецького університету. Серія: Комп'ютерні системи та компоненти. – 2010. - №2. – Т. 1. – С. 125-129.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачевим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 622.6-52

© В.В. Ткачев, П.Ю. Огеенко, А.В. Лозовягин

## **ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ МОДЕЛИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОГРАНИЧЕННОГО РЕСУРСА НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ CAN-ШИНЫ**

Рассмотрена актуальность развития децентрализованных систем управления. Обоснована необходимость проведения эксперимента для исследования поведения алгоритма распределения ограниченного ресурса в CAN-сегменте на физической модели. Выполнен синтез алгоритма функционирования узла и графа пошагового обмена данными в CAN-сегменте. Сделан анализ полученных в ходе эксперимента данных.

Розглянуто актуальність розвитку децентралізованих систем управління. Обґрунтовано необхідність проведення експерименту для дослідження поведінки алгоритму розподілу обмеженого ресурсу в CAN-сегменті на фізичній моделі. Виконано синтез алгоритму функціонування вузла і графа покрокового обміну даними в CAN-сегменті. Зроблено аналіз отриманих у ході експерименту даних.

The actuality of development of decentralized control systems is considered. The necessity of conducting an experiment to research the behavior of the algorithm of limited resources allocation in the CAN-segment on the physical model is grounded. The synthesis of node operation algorithm and step by step data exchange in CAN-segment graph is made. Obtained in the course of the experiment data are analyzed.

Многие экономические и организационные системы, в их современном представлении не были спроектированы в соответствии с реализацией определенного плана, они появились как результат симбиоза существовавших ранее простых систем. Тот же процесс, непосредственно связанный с технической эволюцией, наблюдается и в системах управления технологическими объектами.

Одним из основных недостатков при применении централизованного подхода для сложных объектов выступает то, что практически невозможно задать критерий управления с достаточной для нормального функционирования системы точностью. Децентрализованный же подход предоставляет возможность задавать критерии локально для отдельных подсистем управления, указывая ограничения, которые сформированы на основе общих правил работы объекта в целом.

Децентрализация - это делегирование задачи управления объектом на уровне интеллектуальных узлов системы управления. Таким образом, децентра-

лизованный подход в управлении технологическими объектами основывается на решении задачи о распределении ресурса управления.

Наиболее адаптированной для децентрализованного подхода при управлении технологическими объектами среди сетевых решений является полевая шина CAN (1). Она удовлетворяет требованиям любой системы, в которой микроконтроллеры обмениваются сообщениями друг с другом. Кроме того, это сетевое решение поддерживает достаточный диапазон скоростей, а также помехоустойчиво, что немаловажно при передаче информации. Благодаря мультимастерному подходу и механизму арбитража, CAN предоставляет широкие возможности для организации децентрализованного управления технологическими объектами.

Описание эксперимента проверки возможности использования полевой шины CAN для реализации распределения ограниченного ресурса было приведено в работе (1). Согласно сделанным по результатам эксперимента выводам:

- на базе пошагового обмена данными по CAN-шине можно организовать децентрализованное управление технологическими объектами;
- для выполнения задачи распределения ограниченного ресурса на устройствах необходимо использовать синхронизирующую программную задержку.

Однако, описанный эксперимент не отображает полную картину поведения системы при выполнении задачи распределения ограниченного ресурса. Для выполнения более точного анализа необходимо провести эксперимент, базирующийся на применении правила формирования запроса отдельным узлом системы и ограничений, задающих общую цель управления системой.

В общем случае математические модели децентрализованных систем управления (ДСУ) с одной стороны имеют разные математические описания правил изменения запросов на ресурс управления, с другой стороны - они должны работать в локальной вычислительной сети, обеспечивая выполнение задачи управления по несложному алгоритму.

Основным принципом в работе децентрализованной системы должна быть независимость распределения ресурса от количества контроллеров, которые принимают участие в решении задачи распределения ресурса. Этот принцип обеспечивает основное преимущество децентрализованного управления - живучесть системы.

Анализ правил поведения каждого интеллектуального узла позволяет отобразить алгоритм функционирования контроллера в системе, построенный на основе выполнения задачи управления и экстремума критерия управления по теореме Куна-Таккера. Правило изменения запросов каждым контроллером имеет следующий вид:

$$X_{k+1,i} = X_{k,i} - C \cdot \left[ \alpha_1 \cdot \left( \sum_{i=1}^N f_i(X_i) - Y_3 \right) \cdot f'_i(X_i) - \alpha_2 \cdot \left( X - \sum_{i=1}^N X_{k,i} \right) - \lambda \right] \quad (1)$$

Поскольку в процессе изменения запросов  $X_i$ , контроллерами  $\sum f_i(X_i)$  будет равняться  $Y_3$ , а  $\sum X_i = X$ , то может наблюдаться ситуация, когда  $X_{k+1,i} = X_{k,i} - 0 + 0$ , то есть изменения на  $(k+1)$ -м шаге не происходят. Тогда

ресурс будет распределен, а отклонение выхода системы от заданного значения не наблюдается. Следовательно, задача управления выполнена.

В результате процесса изменения запросов  $X_i$  контролерами на  $(k+1)$ -м шаге значения  $X_i$  не изменяется. Но при этом  $X \neq \sum X_i$  и  $Y_3 \neq \sum f_i(X_i)$ . Это возможно в том случае, если

$$\alpha_1 \cdot \left( \sum_{i=1}^N f_i(X_i) - Y_3 \right) \cdot f_i'(X_i) = \left( X - \sum_{i=1}^N X_{k,i} \right) = A \quad (2)$$

Тогда выражение правила изменения запросов приобретает следующий вид:

$$X_{k+1,i} = X_{k,i} - A + A \quad (3)$$

то есть ресурс не распределен, а величина конечного продукта не равняется заданной, а процесс изменения запросов на ресурс закончен. Следовательно, задача управления не выполнена. Этот анализ показывает, что коллектив контролеров, которые руководствуются правилом поведения, не всегда способен выполнить поставленную задачу. Анализируя выражение (2), можно сделать вывод, что второй случай возможен, если глобальный экстремум функции цели лежит не в зоне ограничения. В этом случае правило поведения контролера должно учитывать неопределенный множитель  $\lambda$ . Тогда алгоритм изменения запросов  $X_i$  (алгоритм изменения поведения) будет выглядеть так, как показано на рисунке 1.

В приведенном алгоритме:  $\delta$  - точность вычисления шага,  $\varepsilon$  - точность распределения ресурса.

Рассмотрим функционирование алгоритма: поскольку исходное значение  $\lambda = 0$ , то выражение в блоке 2 не отличается от выражения (1) и, если после прекращения изменения  $X_i$  (блок 3), ресурс распределен (блок 4), то задача управления выполнена (блок 6). Если исходное значение  $\lambda \neq 0$ , экстремум функции цели лежит не на поверхности ограничения, процесс изменения  $X_i$  закончен (блок 3), но ресурс не распределен (блок 6). Тогда исходной величине  $\lambda$  присваивается значение  $A$  (блок 5). При этом:

$$C \cdot \left[ \alpha_1 \cdot \left( \sum_{i=1}^N f_i(X_i) - Y_3 \right) \cdot f_i'(X_i) - \lambda \right] = 0 \quad (4)$$

$$\alpha_2 \cdot \left( X - \sum_{i=1}^N X_{k,i} \right) = A$$

Это обусловит последующее изменение  $X_i$ . Этот процесс будет продолжаться до тех пор, пока выполняется условие в блоках 3 и 4. После этого зада-

ча управления будет решена. Таким образом, сеть контроллеров, каждый из которых работает по приведенному алгоритму, осуществляет числовое решение системы уравнений, которые лежат в основе задачи управления объектом в целом.

Структура системы, которая осуществляет выполнение задачи управления соответственно изложенному принципу, является децентрализованной. Любой из контроллеров, которые входят в общую сеть, кроме выполнения задачи управления отдельным объектом (машиной), принимает участие в выполнении задачи оптимизации технологического процесса в целом. Рассмотрим, что дает такая техническая реализация с точки зрения живучести системы.

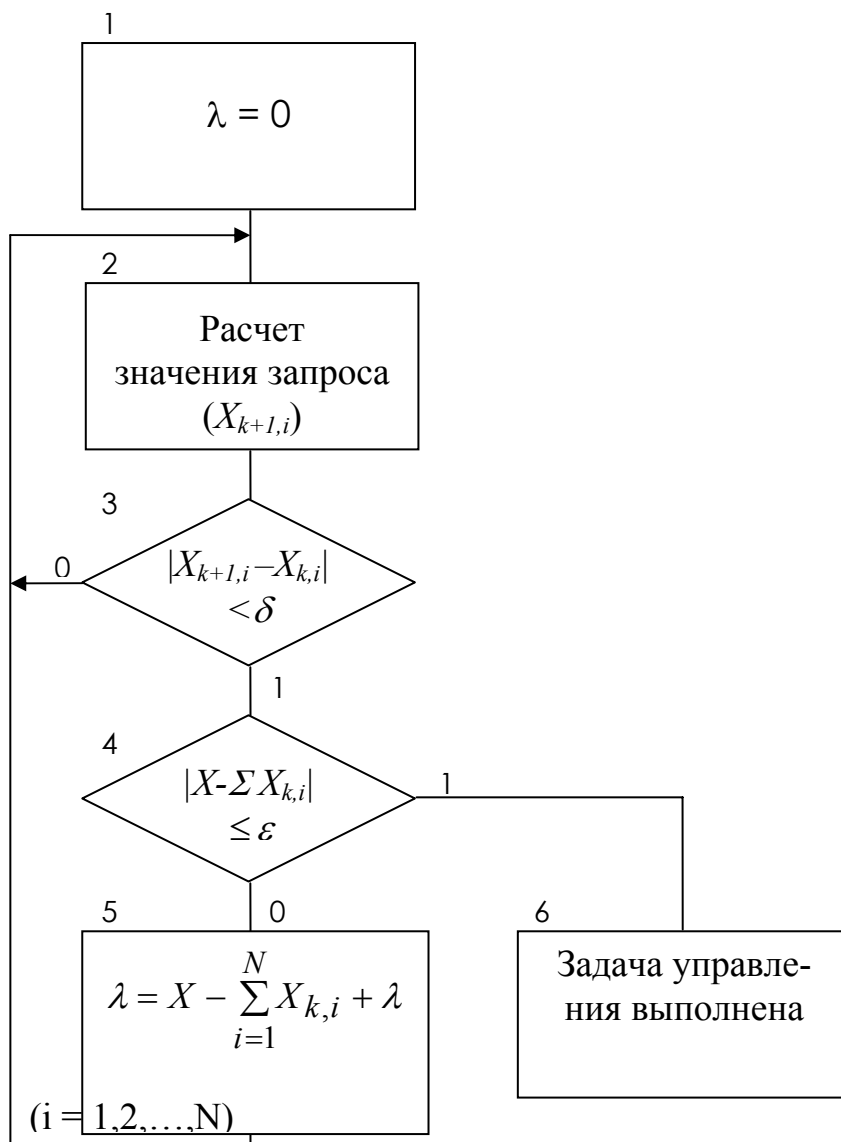


Рис. 1. Обобщенный алгоритм функционирования узла ДСУ

Допустим, что в процессе функционирования выходит из строя часть машин  $M$ , контроллеров или же в систему включаются новые машины с собственными контроллерами. При этом в системе изменяется только параметр  $N$ , что не ведет к необходимости изменения алгоритма выполнения задачи, то есть, ес-



ли каждый из контролеров работает соответственно предложенному алгоритму (рисунок 1), то независимо от количества машин, которые исправно работают в данный момент, и контролеров управление технологическим процессом осуществляется соответственно критерию управления.

Для проведения эксперимента был выполнен синтез графа пошагового обмена данными между узлами CAN-сегмента (1) и приведенного выше алгоритма функционирования узла ДСУ. Полученный граф описывает работу отдельного CAN-модуля, в соответствии с задачей распределения ограниченного ресурса, который задается константным целочисленным значением (рисунок 2).

Работа узла начинается с инициализации задействованных модулей и установки переменных и флагов в значения по умолчанию. Затем, запускается таймер для организации задержки, необходимой для синхронизации устройств с различающимися интеллектуальными модулями (S1). Узел переходит в режим ожидания окончания задержки или получения приема кадра (S2). Устройство, на котором расчет был произведен за наименьшее время, первым выходит из этого режима и отправляет кадр с текущим значением запроса (S3), что инициирует другие узлы к переходу на новый шаг. Все участвующие в обмене узлы после помещения кадра данных в буфер передачи могут переходить в режим опроса флагов (S4). В этом режиме осуществляется контроль событий приема/передачи сообщений. В случае, если произошла отправка кадра, то проверяется был ли это кадр запроса или кадр завершения текущего шага (S5). При отправке кадра завершения шага вычисленная сумма выводится на индикатор устройства (S8). Отправка запроса фиксируется выставлением соответствующего флага. После проверяется получение в ходе текущего шага запроса от другого устройства сегмента (S6). Если кадр был получен, то узел вновь переходит в режим опроса флагов. При иной ситуации косвенным путем принимается решение о том, что данный узел был первым, кому удалось отправить запрос. Таким образом, передача кадра завершения текущего шага возлагается на данное устройство (S7). После чего осуществляется переход в режим опроса. При приеме кадра проверяется его тип (S9). Если это стандартный кадр, то значение его поля данных суммируется с уже рассчитанной суммой (S10) и узел переходит в режим опроса. При получении удаленного кадра проверяется, был ли в ходе шага отправлен кадр запроса (S11). Если да, то значение вычисленной суммы выводится на индикатор (S8). В ином случае, узел переходит в режим ошибки (S12), определяющей, что за текущий шаг устройству не удалось передать свой запрос. Когда переход в режим опроса флагов событий произошел при получении кадра запроса от устройства линии, таймер останавливается (S13). Если в ходе режима опроса фиксируется одновременное возникновение событий передачи и приема кадров, то это приводит к переходу в режим ошибки (S14), определяющий, что интеллектуальный модуль устройства работает слишком медленно для обеспечения реализации поставленной задачи.

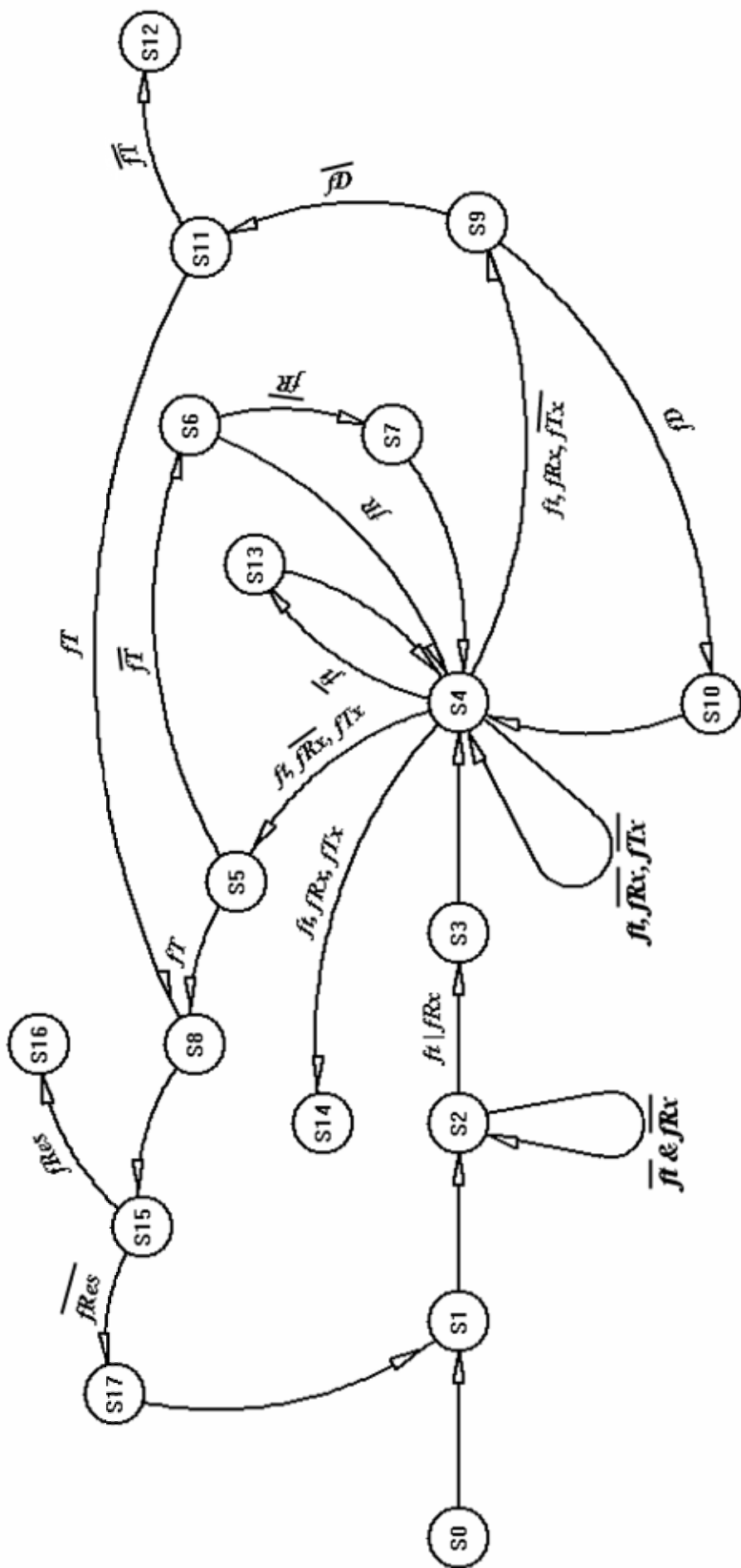


Рис. 2. Граф распределения ограниченного ресурса в CAN-сегменте

$fI$  – флаг контроля окончания задержки;  
 $\overline{fI}x$  – флаг контроля передачи кадра;  
 $fRx$  – флаг контроля получения кадра;  
 $\overline{fI}$  – флаг контроля передачи кадра запроса;

$fRx$  – флаг контроля завершения кадра;  
 $\overline{fI}$  – флаг контроля соответствия кадра;  
 $fRes$  – флаг контроля выполнения задачи распределения  
ограниченного ресурса.

После индикации суммы, рассчитанной в ходе текущего шага, устройство выполняет проверку соответствия вычисленного значения заданному ресурсу (S15) и при превышении максимально допустимой величины отклонения пересчитывает новое значение запроса (S17), после чего переходит в состояние запуска таймера (S1). Если поставленная задача была решена, то распределение прекращается (S16).

Для проведения эксперимента по распределению ограниченного ресурса использована физическая модель CAN-сегмента, структурная схема которой рассмотрена на рисунке 3.

Верхний уровень модели представляет собой персональный компьютер с программным обеспечением для мониторинга информационных потоков в CAN-сегменте.

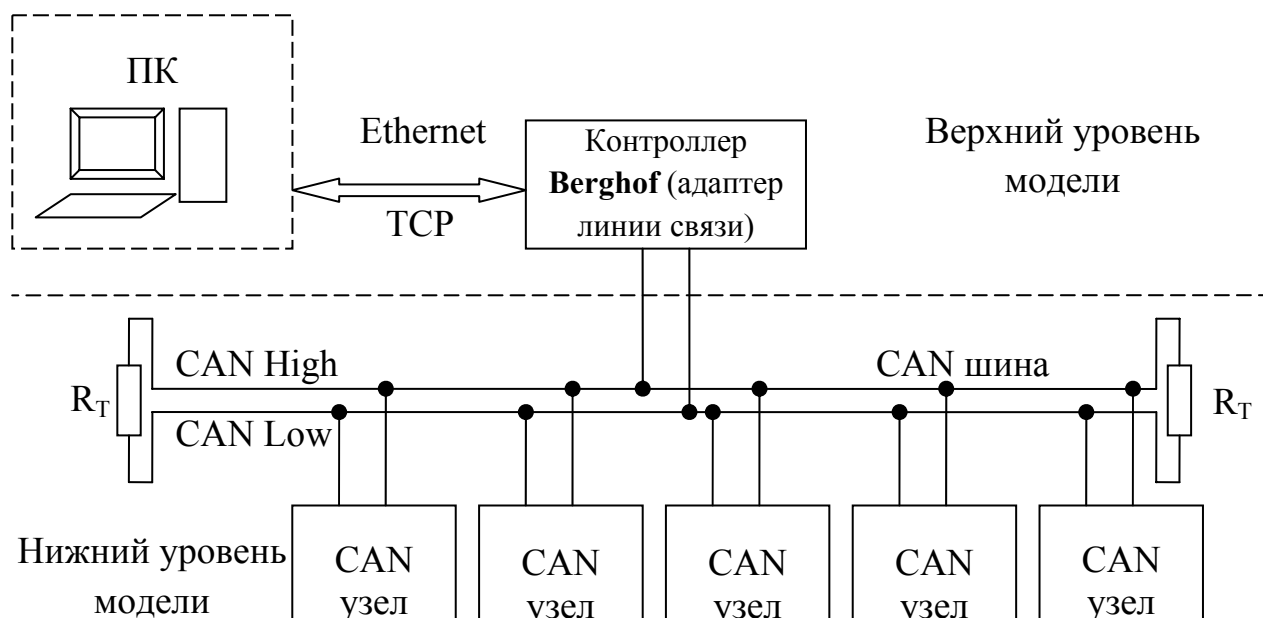


Рис. 3. Структурная схема физической модели CAN-сегмента

Нижний уровень представлен пятью идентичными CAN узлами, которые участвуют в решении задачи распределения ограниченного ресурса.

Для соединения верхнего и нижнего уровней используется промышленный контроллер Berghof, обеспечивающий функцию адаптера линии связи.

В таблице 1 приведены входные и выходные данные трех наиболее показательных опытов.

По выходным данным опытов построены кривые зависимостей величины запроса на ресурс от текущего шага распределения  $X_i(k_i)$  (рисунок 4).

Таблица 1

## Входные и выходные данные опытов

Величина	Устр-во	Опыт 1	Опыт 2	Опыт 3
Входные данные				
<b>X (ресурс)</b>		1000	1000	1000
<b><math>\varepsilon</math> (точность распределения ресурса)</b>		15	15	15
<b><math>\delta</math> (точность вычисления шага)</b>		1	1	1
<b>C (коэффициента шага)</b>		0,008	0,2	0,38
<b>Величина начального запроса</b>	<b>Узел 1</b>	10	10	10
	<b>Узел 2</b>	20	20	20
	<b>Узел 3</b>	30	30	30
	<b>Узел 4</b>	40	40	40
	<b>Узел 5</b>	50	50	50
Выходные данные				
<b>Доля ресурса после распределения</b>	<b>Узел 1</b>	177,3	179,9	176,9
	<b>Узел 2</b>	187,3	189,9	186,9
	<b>Узел 3</b>	197,3	199,9	196,9
	<b>Узел 4</b>	207,3	209,9	206,9
	<b>Узел 5</b>	217,3	219,9	216,9
<b>Количество шагов распределения</b>		64	3	33

По результатам проведенного эксперимента сделаны следующие выводы:

- полученные кривые соответствуют приведенным в работе (2), основанным на имитационной модели контроллера, участвующего в распределении ограниченного ресурса;

- число шагов распределения ограниченного ресурса непосредственно зависит от коэффициента шага и в общем случае достигает минимума в диапазоне значений от 0,001 до 0,5;

- весь диапазон значений для коэффициента шага итерации условно может быть разделен на три зоны. Наименьшее число шагов при распределении ограниченного ресурса наблюдается в зоне 2 (рисунок 4, б);

- разработанный алгоритм позволяет решить задачу распределения ограниченного ресурса в CAN-сегменте.

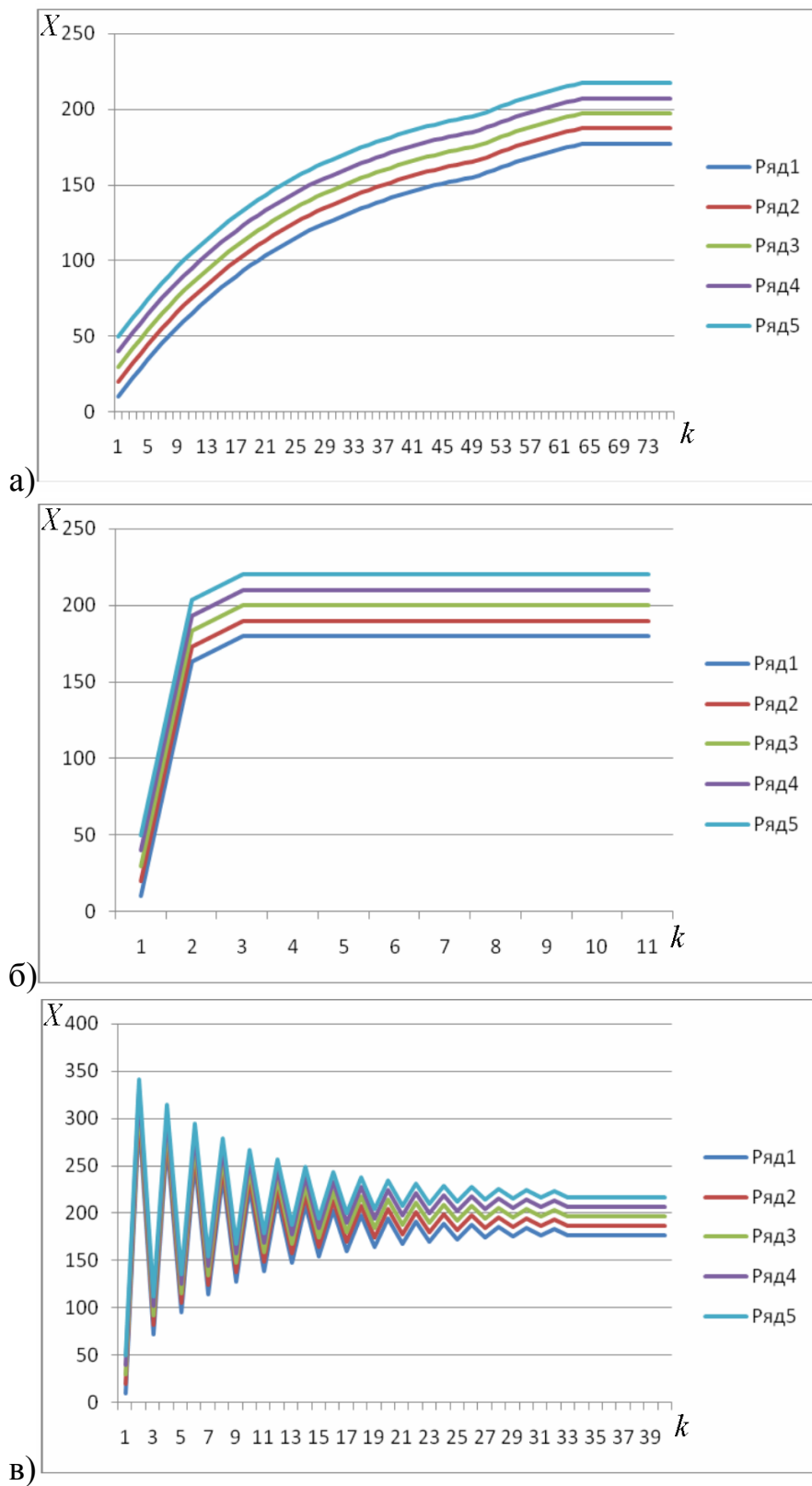


Рис. 4. а) кривые распределения ресурса при  $C = 0,008$ ; б) кривые распределения ресурса при  $C = 0,2$ ; в) кривые распределения ресурса при  $C = 0,38$

#### Список литературы

1. В. В. Ткачев, П. Ю. Огеенко, А. В. Лозовягин, «Децентрализованное управление в задачах минимизации удельных энергозатрат», Науковий вісник НГУ №4, 2011
2. Г. Г. Пивняк, С. Н. Проценко, С. М. Стадник, В. В. Ткачев, Децентрализованное управление: Монография. – Д.: НГУ 2007. – 107 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Ткачовим В.В.  
Надійшла до редакції 19.05.11*

УДК 681.5.015: 62-52

© А.В. Герасина

## **КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ПРОЦЕССОВ КРУПНОГО ДРОБЛЕНИЯ И САМОИЗМЕЛЬЧЕНИЯ РУД**

Разработан комплексный метод идентификации нелинейных процессов крупного дробления и самоизмельчения руд, который осуществляется путем определения тенденции к изменению режимов функционирования этих процессов, по значениям чего выполняется структурно-параметрическая или параметрическая оптимизация интеллектуальных прогнозирующих моделей с вариацией типов их структур.

Розроблено комплексний метод ідентифікації нелінійних процесів крупного дроблення та самоздрібнювання руд, що здійснюється шляхом визначення тенденції до зміни режимів функціонування цих процесів, за значеннями чого виконується структурно-параметрична або параметрична оптимізація інтелектуальних прогнозуючих моделей з варіацією типів їх структур.

The complex method of identification of nonlinear comminution processes is developed, which is carried out by definition of the tendency to variation of modes of functioning of these processes, on values of that structural-parametrical or parametrical optimization of intellectual predicting models is executed with variation of types structures.

**Введение.** Нелинейные процессы крупного дробления и самоизмельчения руд с позиций управления являются сложными динамическими объектами, модели которых имеют нестационарные параметры, нелинейные зависимости и стохастические переменные. Кроме того, эти процессы имеют различные режимы работы (переменную структуру). Создание эффективных систем управления данными процессами предусматривает их идентификацию как на стадии проектирования, так и в процессе функционирования.

**Постановка задачи.** Анализ методов и алгоритмов идентификации нелинейных объектов управления (ОУ) показал, что в работах ученых проводилась параметрическая либо структурно-параметрическая идентификация ОУ. Однако, применение параметрической идентификации является недостаточным, учитывая характер идентифицируемых процессов, а выбор структурно-параметрической идентификации не обоснован.

Реализация структурно-параметрической идентификации ОУ, предложенная Марьютой А.Н., Новицким И.В., Поркуян О.В., Корниенко В.И. и др., ориентирована на определенную структуру моделей. Однако, предполагаемое постоянство структуры приводит к существенной потере точности идентификации, и, следовательно, к снижению качества управления. Решение этой проблемы предложил Ка-

чан Ю.Г., однако его методы также имели существенные недостатки: статичность моделей ОУ и увеличение затрат вычислительных ресурсов.

Так, в работах [1, 2] предложены метод идентификации по временным реализациям и композиционный метод структурно-параметрической идентификации процессов крупнокускового дробления (ККД) и мокрого самоизмельчения (МСИ) руд, которые позволяют реализовать процедуру идентификации в реальном режиме времени.

Вместе с тем, в работе [2] не обоснован выбор типа структуры моделей процессов ККД и МСИ в виде модели Винера-Гаммерштейна [3]. Исходя из этого, можно предполагать, что композиционный метод идентификации имеет недостаточную точность вследствие неоптимальности структур прогнозирующих моделей процессов ККД и МСИ для конкретных режимов работы.

Таким образом, актуальным является разработка методов идентификации процессов ККД и МСИ, которые бы учитывали вариацию типов структур моделей, что не создавало бы увеличения затрат вычислительных ресурсов.

**Цель статьи.** Разработать метод идентификации нелинейных процессов крупного дробления и самоизмельчения руд в классе их интеллектуальных прогнозирующих моделей, который учитывает вариацию структур моделей и не приводит к существенному увеличению вычислительных затрат.

**Комплексный метод идентификации.** Предложен комплексный метод идентификации процессов ККД и МСИ, в рамках которого по временной реализации определяется состояние ОУ и размерность его моделей.

Задача структурно-параметрической идентификации ОУ состоит, прежде всего, в обосновании типа структуры модели. После этого следует выбор методов и критериев структурной оптимизации, способов учета ограничений, базисных функций и методов параметрической оптимизации с выбором критерия параметрической оптимизации.

Структурная идентификация осуществляется с помощью композиции методов глобальной и локальной оптимизации, в которой осуществляется генерирование структур моделей-претендентов (базисных функций со своими структурными характеристиками), а затем выполняется отбор лучших из них по критерию структурной оптимизации. Результатом структурной идентификации является модель ОУ оптимальной структуры, найденная с помощью алгоритма глобальной оптимизации.

Параметрическая идентификация заключается в определении параметров модели оптимальной структуры путем ее обучения методом локальной параметрической оптимизации по критерию параметрической оптимизации.

Параметр Херста  $H$  характеризует закономерность в изменении состояния стохастических динамических процессов [4], и используется как критерий необходимости проведения структурно-параметрической идентификации:

$$R(\tau) = \frac{R_0(\tau)}{S(\tau)} = (\alpha \cdot \tau)^H, \quad (1)$$

где  $R_0(\tau)$  – разница максимального и минимального значений (размах) процесса  $y(t)$ ;  $S(\tau)$  – среднеквадратическое отклонение его приращений на интервале  $\tau$ .

Энтропия Колмогорова  $K$  описывает динамическое поведение на странном аттракторе, и показывает насколько динамическая система хаотична [5, 6].  $K$ -энтропия определяется как средняя скорость потери информации о состоянии динамической системы

$$K_{ng} = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \lim_{m \rightarrow \infty} \ln \left[ \frac{J_m(\sigma)}{J_{m+1}(\sigma)} \right] \leq K, \quad (2)$$

где  $J(\sigma)$  – корреляционный интеграл;  $\sigma$  – размер ячейки покрытия данного множества.

Корреляционная размерность аттрактора характеризует нижнюю границу фрактальной размерности Хаусдорфа [5, 6]

$$D_{ng} = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{\log J(\sigma)}{\log \sigma}. \quad (3)$$

По значению корреляционного интервала предсказуемости определяется глубина точного прогноза

$$T_{vg} \sim \frac{1}{K_{ng}} \ln \left( \frac{1}{\sigma} \right) \geq T_{pr}. \quad (4)$$

По значению размерности вложения аттрактора определяются глубины памяти входных и выходных переменных модели ОУ

$$d \geq 2D_{ng} + 1. \quad (5)$$

Задача идентификации ОУ формулируется следующим образом [2, 7]: на основании экспериментального множества функций возмущений, управлений и выходов в условиях помех определить структуру  $\Phi$  и параметры  $a$  модели

$$\hat{Y}[m+n] = \Phi\{Y[m], u[m], \chi[m], \xi[m], a[m], m\}, \quad m = \overline{1, M}, \quad (6)$$

которая достаточно точно (в смысле некоторого критерия) аппроксимирует ОУ относительно входных и выходных величин во всем функциональном пространстве. Здесь  $Y[m], u[m], \chi[m], \xi[m]$  – соответственно выход процесса, его управления, возмущения и помехи к текущему такту времени  $m$  ( $m = t/T$ ) с соответствующими глубинами памяти;  $t$  – непрерывное время;  $T$  – период дискретизации;  $M$  – время наблюдения;  $n$  – глубина прогноза.

Таким образом, формирование вектора  $\Psi_s = \{\Phi, a\}$  оценки структуры  $\Phi$  (структурная идентификация) и параметров  $a$  (параметрическая идентификация) модели ОУ (1) осуществляется путем минимизации принятого функционала:

$$C[\Psi_s] \rightarrow \min_{\Psi_s} C \Rightarrow \{\Phi_{opt}, a_{opt}\}. \quad (7)$$

В методах глобальной оптимизации алгоритм поиска оптимального решения связывает следующие друг за другом решения  $\Psi_s(j+1) = F[\Psi_s(j)]$ , где  $F$  – алгоритм поиска, который показывает какие операции следует сделать на шаге  $j$  при решении  $\Psi_s(j)$ , чтобы



$$C[\Psi_s(j+1)] < C[\Psi_s(j)]. \quad (8)$$

В алгоритмах прямого случайного поиска (ПСП) задаются направления поиска и определяются значения функционала  $C$  в точках  $\Psi_s(j) \pm \gamma\zeta$ . Решение состоит в выборе шага в направлении уменьшения этого функционала

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) - \omega\zeta\{C[\Psi_s(j) + \gamma\zeta] - C[\Psi_s(j) - \gamma\zeta]\}, \quad (9)$$

где  $\omega, \zeta, \gamma$  – параметры, которые определяют сферы принятия решения ( $\omega$ ), сбора информации ( $\gamma$ ) и единичное случайное направление ( $\zeta$ ).

Развитием метода ПСП является метод имитации отжига (МИО), который отражает поведение расплавленного материала при отверждении с применением процедуры управляемого охлаждения (отжига). В нем задаются направления поиска и определяются значения функционала  $C$  в точках  $\Psi_s(j) \pm \nu\tau$ . Решение состоит в выборе шага в направлении уменьшения этого функционала:

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) - \omega\nu\{C[\Psi_s(j) + \nu\tau] - C[\Psi_s(j) - \nu\tau]\}, \quad (10)$$

где  $\omega, \nu, \tau$  – параметры, которые определяют сферы принятия решения ( $\omega$ ), изменение текущего решения ( $\nu$ ) и уменьшение температуры ( $\tau$ ).

Генетические алгоритмы (ГА) моделируют развитие биологической популяции на уровне геномов: мутации структуры и параметров  $\delta\Psi_s$ , их скрещивание и правило отбора, что позволяет обнаруживать благоприятные вариации, с помощью которых строится последовательность улучшенных решений

$$\Psi_s(j+1) = \Psi_s(j) + \delta\Psi_s(j). \quad (11)$$

В качестве критерия параметрической оптимизации использовался критерий регулярности, вычисляемый на всей выборке экспериментальных данных

$$C_{рег} = \frac{\|Y^*[m+n] - \hat{Y}[m+n]\|}{\|Y^*[m+n]\|}, \quad (12)$$

а для структурной – комбинированный критерий вида

$$C_{комб} = 0,2 \cdot C_{рег} + 0,8 \cdot C_{см}; \quad (13)$$

где  $C_{см}$  – критерий минимума смещения.

В качестве типов структур моделей рассматривались блочно-ориентированные модели Винера, Гаммерштейна и их комбинации, а также модели авторегрессии с дополнительным входным сигналом (ARX) [3]. В качестве линейного динамического блока в них использовались линии задержки, величины которых определяются размерностью входных и выходных переменных. В качестве нелинейного статического блока – базисные функции в виде полиномов Колмогорова-Габора, нейронных сетей (НС) прямого распространения (каскадных и вейвнет), НС с радиальными базисными функциями (РБФ) и гибридных НС с нечеткой логикой (Anfis).

В рамках предложенного комплексного метода осуществление идентификации в пакетном режиме реализуется путем структурно-параметрической оптимизации ОУ с выбором оптимальной структуры модели. В режиме реального времени идентификация реализуется путем параметрической оптимизации ОУ.

Программа реализации структурно-параметрической идентификации процессов ККД и МСИ согласно предложенному комплексному методу, имеет структуру, показанную на рис. 1.

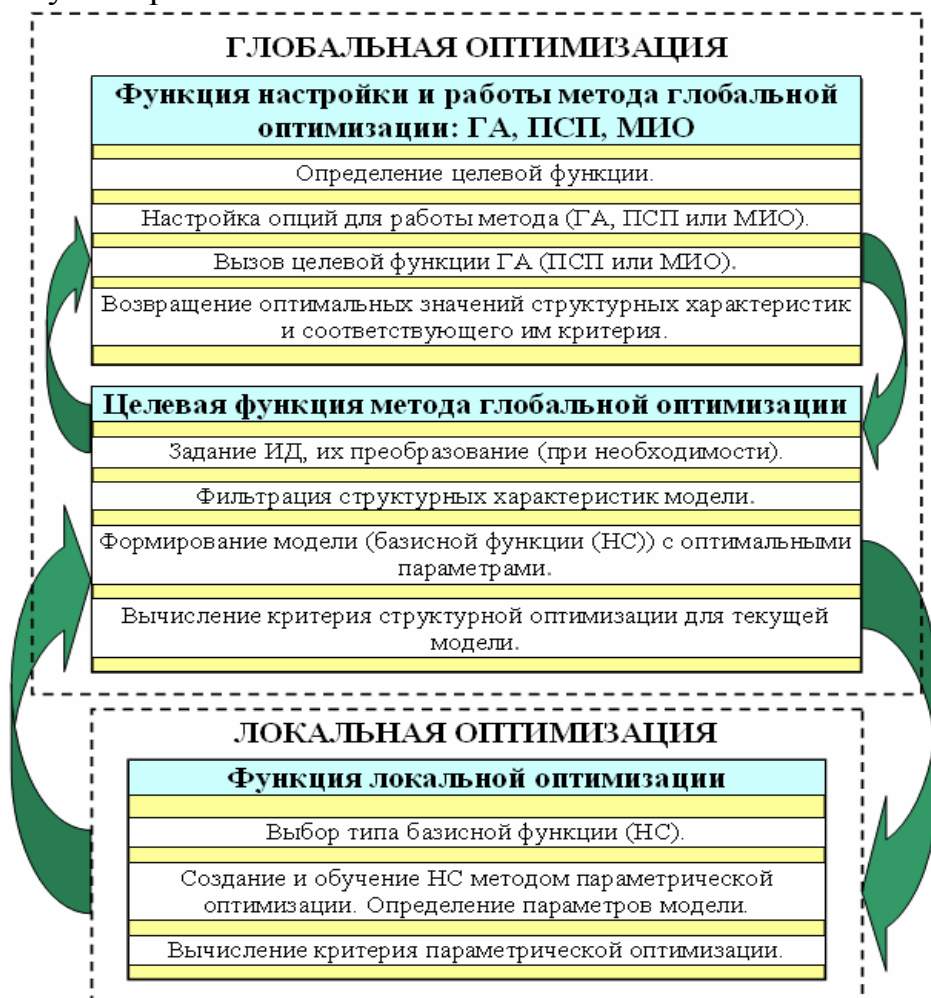


Рис. 1. Структура программы реализации структурно-параметрической идентификации ОУ

**Моделирование.** Моделирование решения задачи структурно-параметрической идентификации при вариации типов структур моделей ОУ выполнялось с помощью разработанной программы в среде Matlab.

Для моделирования процесса ККД в качестве входных сигналов использовался полосовой авторегрессионный сигнал с гауссовским шумом амплитудой 10% от уровня сигнала. Сам процесс моделировался нелинейным конечно-разностным уравнением. При этом, в соответствии с динамическими свойствами процесса ККД глубина прогноза составляла  $n = 3$  такта, а глубина памяти – 4 такта. Размер реализации составлял  $N = 1024$ .

В качестве критерия оценки моделей выбран критерий регулярности (12), в качестве структур – модели Винера, Гаммерштейна, Гаммерштейна-Винера и

ARX с базисными функциями в виде каскадных НС, вейвнетов (НС с функциями активации в виде вейвлет) и полиномов Колмогорова-Габора.

Результаты идентификации ОУ со структурой модели ARX и базисными функциями в виде вейвнета и каскадной НС приведены на рис. 2,а. При этом значения критерия регулярности составили 0,0644 для вейвнета и 0,0995 для каскадной НС.

Результаты идентификации ОУ со структурой модели Гаммерштейна-Винера и базисными функциями в виде вейвнета и полинома Колмогорова-Габора приведены на рис. 2,б. При этом значения критерия регулярности составили 0,0334 для вейвнета и 0,0370 для полинома Колмогорова-Габора.

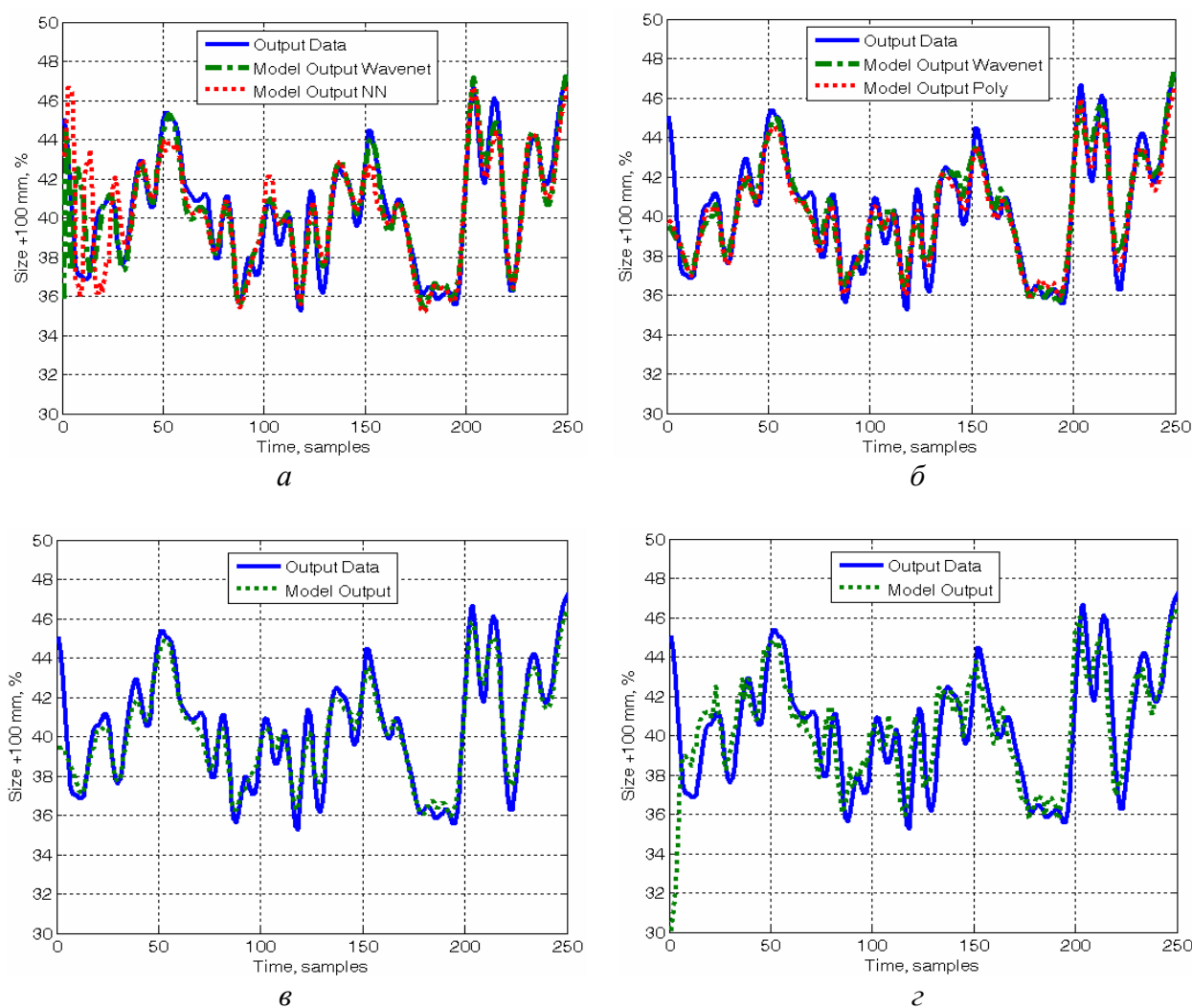


Рис. 2. Результат идентификации процесса ККД в виде моделей ARX (а), Гаммерштейна-Винера (б), Винера (в) и Гаммерштейна (г)

Результаты идентификации ОУ с базисными функциями в виде вейвнет и со структурами моделей Винера и Гаммерштейна приведены на рис. 2,в-г, соответственно, а значения критерия регулярности составили: для моделей Винера – 0,0336, Гаммерштейна – 0,0723.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что в качестве структуры модели процесса ККД предпочтительной является структура Гаммерштейна-Винера, поскольку она дает меньшие значения критерия регулярности (12) при различных базисных функциях. Для процесса МСИ структура Гаммерштейна-Винера также является предпочтительной [8].

Общее время проведения структурно-параметрической идентификации для процессов ККД и МСИ согласно предложенному комплексному методу составляет 1,5...2 часа, что предполагает значительные затраты вычислительных ресурсов в автоматизированных системах управления этими процессами.

Сравнительный анализ комплексного и композиционного методов идентификации процессов ККД и МСИ отражен в таблице.

Таблица

Сравнительный анализ композиционного и комплексного методов идентификации

№	Композиционный метод	Комплексный метод
1.	-	Исследованы различные режимы работы процессов ККД и МСИ. Обоснована необходимость проведения структурно-параметрической идентификации этих процессов при изменении их режимов функционирования [9].
2.	-	В рамках метода исследованы различные типы блочно-ориентированных структур моделей процессов ККД и МСИ, и установлено, что оптимальной для них является структура Гаммерштейна-Винера.
3.	Реализует идентификацию в реальном режиме времени.	Реализует идентификацию в пакетном режиме путем структурно-параметрической, а в режиме реального времени - параметрической оптимизации посредством добавления в него критерия необходимости проведения структурно-параметрической идентификации. Это позволяет снизить вычислительные затраты на идентификацию процессов ККД и МСИ.
4.	При глобальной оптимизации использовались ГА и ПСП, а при параметрической в качестве базисных функций – каскадные НС, НС РБФ и НС Anfis.	При глобальной оптимизации дополнительно использовался МИО, а при параметрической оптимизации в качестве базисных функций – вейвлеты и полиномы Колмогорова-Габора. Это позволило установить преимущества каждого из алгоритмов глобальной оптимизации по скорости сходимости, быстродействию и точности сходимости, а также расширить поиск оптимальных структурных характеристик и параметров моделей процессов ККД и МСИ.

**Выводы.** Предложен комплексный метод идентификации нелинейных процессов ККД и МСИ, который содержит вариацию типов структур моделей, что с одной стороны, позволяет повысить точность идентификации для разных режимов функционирования.

С другой стороны это предполагает значительные затраты вычислительных ресурсов, для снижения которых предложено добавить в метод критерий необходимости проведения структурно-параметрической идентификации. Это позволяет выполнять идентификацию процессов ККД и МСИ не только в режиме реального времени, но и в пакетном режиме.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку интеллектуальных прогнозирующих моделей процессов ККД и МСИ и оценку их эффективности.

### Список литературы

1. Корнієнко В.І. Ідентифікація нелінійних процесів по часових реалізаціях / В.І. Корнієнко, Д.Ю. Скриль // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 3. – С. 85-89.
2. Кузнецов Г.В. Композиційна структурно-параметрична ідентифікація нелінійних динамічних об'єктів керування / Г.В. Кузнецов, В.І. Корнієнко, О.В. Герасіна // Наукові вісті НТУУ КПІ. – 2009. – № 5. – С. 69-75. – ISSN 1810-0546.
3. Ljung L. Identification of Nonlinear Systems / L. Ljung // Proceeding of the IEEE. – 2006. – № 6. – P. 1-10.
4. Федер Е. Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
5. Кузнецов С.П. Динамический хаос / С.П. Кузнецов – М.: Физматлит, 2002. – 296 с.
6. Шустер Г. Детерминированный хаос. Введение / Г. Шустер – М.: Мир, 1988. – 256 с.
7. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского, - М.: Наука, 1987. – 712 с.
8. Герасина А.В. Идентификация объектов управления в АСУТП рудоподготовки / А.В. Герасина, В.И. Корниенко // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2010. – № 10. – С. 102-106. – ISSN 2071-2227.
9. Герасина А.В. Идентификация режимов работы нелинейных процессов рудоподготовки / А.В. Герасина, В.И. Корниенко // Гірничя електромеханіка та автоматика: Наук. – техн. зб. – 2010. – Вип. 85 – С. 82-90. – ISSN 0201-7814.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесарєвим В.В.  
Надійшла до редакції 16.06.11*

УДК 621.787.044

© Л.В. Грязнова, А.Г. Лисняк

## **СФЕРОИДИЗАЦИЯ ПЕРЛИТА В СТАЛИ ПРИ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКЕ**

В работе исследовано влияние параметров ударно волнового нагружения на микроструктуру легированной стали. При обработке сталей ШХ15 и 55ХФА обнаружено явление динамической сфероидизации перлита, происходящее во время прохождения ударной волны, генерируемой двухслойным зарядом взрывчатого вещества.

У роботі досліджений вплив параметрів ударно хвильового навантаження на микроструктуру легованої сталі. При обробці сталей ШХ15 і 55ХФА виявлене явище динамічної сфероидизації перліту, що відбувається під час проходження ударної хвилі, генеруємою двошаровим зарядом вибухової речовини.

In this work influence of parametres of impact waves on a microstructure of the alloyed steel was investigated .After processing of steels ШХ15 and 55ХФА is investigated the phenomenon dynamic sferoidization in pearlit, an event is revealed during passage of the shock wave generated by a two-layer charge of explosion.

**Введение.** Углеродистые и легированные инструментальные и шарикоподшипниковые стали часто, подвергают сфероидизирующему отжигу на зернистый перлит. Сталь с такой структурой обладает наименьшей твердостью и легче обрабатывается резанием. Кроме того, зернистый перлит является оптимальной исходной структурой под закалку, т.к. имеет меньшую склонность к росту аусте-

нитного зерна при нагреве, шире допустимый интервал закалочных температур, меньшую склонность к растрескиванию при закалке.

Сфероидизирующий отжиг является диффузионным процессом, поэтому является достаточно длительным и, следовательно, весьма энергоемким. Энергосбережением обусловлена актуальность разработок, направленных на сокращение длительности диффузионных процессов термической обработки, в частности - сфероидизации.

Установлено, что предварительная деформация, существенно увеличивающая количество дислокации и вакансий, способствует диффузионным процессам и приводит к сокращению времени сфероидизации. Однако предварительное деформирование деталей связано с рядом технологических трудностей, в частности, недопустимо высокой степенью деформации. В то же время известно, что обработка ударными волнами позволяет значительно увеличить количество дефектов в кристалле без заметной макродеформации [1]. Это послужило основанием к проведению экспериментов по изучению влияния предварительного ударно-волнового нагружения на кинетику последующей сфероидизации цементита.

**Результаты исследования.** В данной работе представлены результаты экспериментов по обработке стали ШХ15 и стали 55ХФА ударными волнами с различными параметрами. Цилиндрические образцы подвергались ударно-волновой обработке по двум схемам, приведенным на рис. 1.

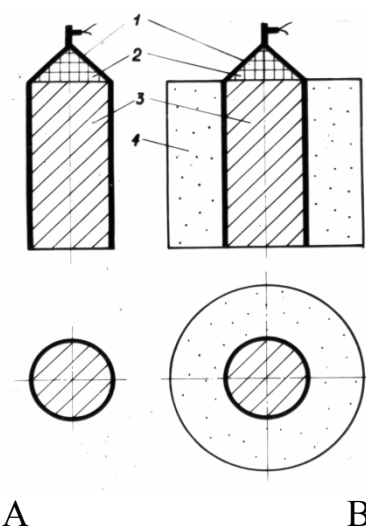
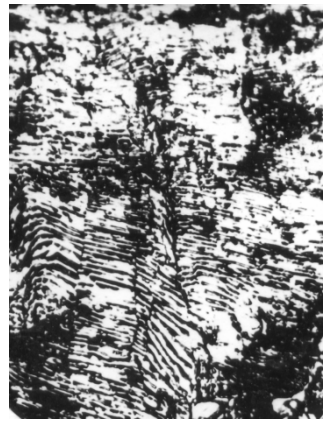
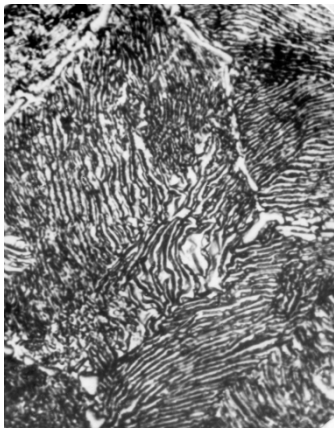


Рис.1. Схема нагружения: А- однослойным зарядом ,В- двухслойным зарядом  
1- высокоскоростное ВВ, 2-инертная вставка, 3- образец, 4 –низкоскоростное ВВ.  
2-

Отличие их состоит в том, что при нагружении по схеме 1В используется двухслойный заряд взрывчатого вещества (ВВ), в котором 1-й, контактный с обрабатываемым металлом, слой идентичен высокоскоростному заряду схемы А, а второй, наружный слой, представляет из себя низкоскоростное ВВ. Скорость детонации слоев, соответственно:  $D_1 \sim 7600\text{м/с}$ ,  $D_2 \sim 4200\text{м/с}$  [2].



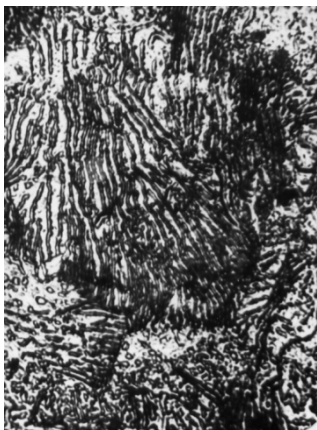
А

Б

В

Рис.2. Сталь 3X15. А - горячекатаная, Б - обработка однослойным зарядом, В - обработка двухслойным зарядом ВВ. Увеличение - 1000.

Образцы в исходном состоянии имели структуру пластинчатого перлита с цементитной сеткой по границам зерен (рис.2А, рис. 3А). После ударно-волнового нагружения были проведены сравнительные металлографический и рентгеноструктурный анализы сталей.



А

Б

В

Рис.3. Сталь 55XFА. А - горячекатаная, Б - обработка однослойным зарядом, В - обработка двухслойным зарядом. Увеличение -1000

Было установлено, что после нагружения однослойным зарядом ВВ структура стали изменилась незначительно: в перлитных зернах, расположенных у поверхности нагружения, произошли сдвиги отдельных частей зерна (рис.2Б, рис. 3Б). Линии сдвига практически параллельны друг другу; часть из них выходит на поверхность металла, часть локализуется в теле зерна.

При нагружении двухслойным зарядом ВВ в микроструктуре стали отмечены значительные изменения — наряду с пластинчатым перлитом образовались участки зернистого перлита. Цементитная сетка преобразовалась в цепочку округлых частиц (Рис.2 В, Рис.3 В). Таким образом, неожиданно было обнаружено

явление сфероидизации эвтектоидного и структурно-свободного цементита в ударной волне, генерируемой двухслойным зарядом ВВ.

В работе [3] описано явление динамической сфероидизации цементита, происходящее при деформации стали прокаткой при субкритической температуре. Однако деформационные процессы, происходящие на фронте ударной волны, протекают со скоростями на порядки большими, чем при традиционных процессах ОМД. Действительно, после обработки однослойным зарядом сфероидизация не наблюдалась. Изменения в конфигурации фронта и продолжительности действия ударной волны, имеющие место при схеме обработки двухслойным зарядом ВВ, сделали возможным сфероидизацию цементитных пластин перлита.

По мнению авторов, такую динамическую сфероидизацию можно объяснить следующим образом.

Известно, что скорость диффузии резко увеличивается в ударной волне. Это связано с образованием большого количества дефектов, как точечных, так и линейных [1]. Важнейшим параметром для диффузии и фазовых превращений является давление в ударной волне. Чем выше давление, тем выше плотность дефектов. Влияние же длительности импульса на плотность дислокаций незначительно, но весьма существенно для перестройки дислокационной структуры. С увеличением длительности импульса происходит переход от клубковых скоплений к ячеистой структуре [1]. Таким образом, время действия импульса является критическим фактором для фазовых превращений в металлах.

При сфероидизации цементита в диффузионном процессе участвуют атомы углерода и железа; при этом атомы углерода движутся по междоузлиям и дислокационным трубкам, а железа – по вакансиям.

Поскольку, при ударно-волновом нагружении количество вакансий может достигать  $\sim 10^5 \text{ см}^{-3}$ , а плотность дислокаций  $\sim 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , то есть все условия для интенсификации процесса диффузии по дислокациям. По видимому работают и особые механизмы интенсивной диффузии в ударных волнах, представленные в работе [4].

Кроме того при ударно-волновом нагружении наблюдается чрезвычайно высокая скорость деформации ( $10^6 - 10^9 \text{ с}^{-1}$ ), которая вызывает нагрев до высокой температуры в ударной волне (до  $1000^\circ \text{C}$ ), что также способствует ускорению процесса диффузии.

В нашем эксперименте при нагружении однослойным зарядом ВВ процесс сфероидизации цементита не происходит, что можно объяснить недостатком времени действия пикового давления ( $\sim 2 \text{ мкс}$ ). При нагружении двухслойным зарядом ВВ происходит изменение динамики прохождения ударной волны, в частности, увеличение времени действия пикового давления в два – три раза [2].

Можно предположить, что высокое давление, наряду с высокой температурой, в первую очередь приводят к  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращению ферритных прослоек перлита. Присутствие большого количества дефектов активизирует диффузионные процессы как в аустенитных прослойках, так и в цементитных пластинах. В силу повышенной поверхностной энергии цементитные пластины начинают интенсивно дробиться. Это связано также с пластической деформацией цементитных пла-



стин в ударной волне и образованием субграниц, способствующих их делению. Происходит деление цементитных пластин также и в местах повышенной плотности дислокаций. Поскольку скорость диффузии углерода в аустените в десятки раз больше, чем в феррите, сфероидизация цементита в окружении аустенита идет быстро и успевает пройти, пока существуют температурно-временные параметры, достаточные для сфероидизации.

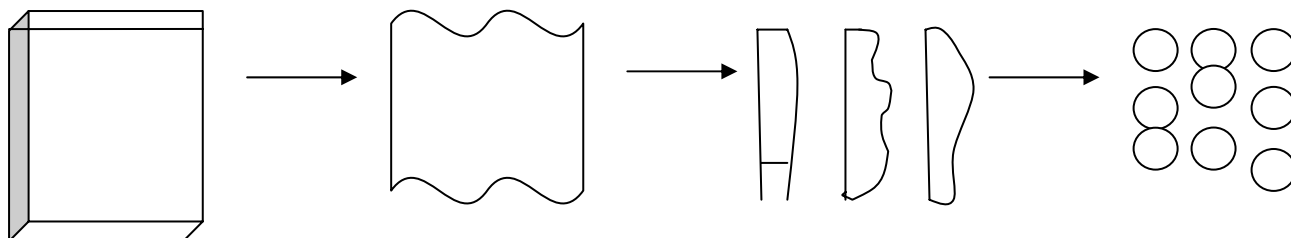


Рис.4. Стадии превращения цементитных пластин в сферические частицы.

Цементитные пластины преобразуются путем растворения и разделения пластин, дальнейшего разделения продолговатых частиц и сфероидизации. Схема последовательного разделения и сфероидизации, по мнению авторов, представлена на рис.4.

После прохождения пикового давления и снижения температуры происходит обратное превращения  $\gamma \rightarrow \alpha$ .

Процесс сфероидизации при прохождении ударной волны по металлу в литературе не упоминается и получен в наших экспериментах только при обработке стали 2-х слойным зарядом ВВ. Отсюда следует, что волновая конфигурация и время действия ударной волны при этой схеме создают условия для сфероидизации цементита. Следует подчеркнуть, что продолжительность обработки ударной волной примерно в  $10^8$  раз меньше, чем обычно требуется для процесса сфероидизации при обычной термообработке.

Результаты рентгеноструктурного анализа стали ШХ15 подтверждают различие в действии примененных схем ударно-волнового нагружения: так плотность дислокаций составляет 1,7 и  $1,87 \times 10^{11} \text{ см}^{-2}$ , значения микронапряжений III рода 1,72 и  $0,6 \times 10^{-3}$ , а величина блоков 6,5 и  $4 \times 10^{-6} \text{ см}$  для схем нагружения однослойным и двухслойным зарядом соответственно. Для стали 55ХФА наблюдается аналогичная зависимость.

Это подтверждает факт более равномерного распределения дефектов при нагружении двухслойным зарядом ВВ, что однозначно связано с временной составляющей импульса ударной волны.

**Выводы.** Авторами впервые обнаружено явление динамической сфероидизации цементита в ударной волне, генерируемой двухслойным зарядом ВВ, которое может быть использовано для интенсификации процессов термической обработки машиностроительных сталей.

#### Список литературы

1. Ударные волны и явления высокоскоростной деформации металлов /под ред. М.А. Маерса и Л.Е. Мура. –М.: Металлургия,1984.
2. Возможный механизм действия двухслойного заряда ВВ при взрывном упрочнении металла. /Дидык Р.П., Сменюк Е.А., Грязнова Л.В. ,Усов О.Я. //Физика горения и взрыва.-1980.- №1.- С.120-126.
3. Долженков И.Е., Долженков И.И. Сфероидизация цементита. -М.: Металлургия, 1984.
4. К теории аномально высокой скорости диффузии в металлах при ударных воздействиях. //ФММ.- Т. 107.- N4.- 2009.- С.353-363.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Дриженком А.Ю.  
Надійшла до редакції 11.05.11*

УДК 620.178.5

© В.М. Кравченко, В. А. Сидоров, В. В. Буцукин

### **ЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЗМОВ**

В работе рассмотрен и обобщен опыт в области органолептической звуковой диагностики узлов механизмов

У роботі розглянуто і узагальнено досвід в області органолептичної звукової діагностики вузлів механізмів

The paper reviewed and summarized the experience in organoleptic sound diagnostic nodes mechanisms

Неплановые остановки горного оборудования вследствие аварий и поломок элементов его механизмов приводит к существенным экономическим потерям, связанным как с дополнительными затратами на неплановую замену узлов так и с потерями добычи. Одним из перспективных способов предотвращения нештатного развития технологических процессов, могущего привести к этим вредным и опасным последствиям, является использование мониторинга состояния как собственно процесса, осуществляемого при помощи оборудования, так и состояния самого оборудования методами технической диагностики. Несмотря на активное внедрение в современное горное оборудование автоматизированных систем контроля, основанных на разного рода датчиках, органолептические методы оценки технического состояния механизмов остаются важной составной частью повседневной работы специалистов, обслуживающих оборудование в процессе эксплуатации [1, 2]. Одним из широко употребляющихся направлений органолептического контроля является оценка технического состояния механизмов на основе анализа шумов, возникающих при их работе.

Аналізу известных методов оценки состояния механизмов на основе шумов, возникающих при их работе, включая органолептические, посвящено значительное количество публикаций и нормативных документов, рассмотренных в [1-4]. Однако рассмотрению комплексного использования органолептических методов звуковой диагностики до настоящего времени достаточного внимания не уделялось [3].

Целью настоящей работы является обобщение опыта в области органолептической звуковой диагностики узлов механизмов.

В современной практике технического обслуживания механизмов анализ шумов проводится по двум направлениям:

1. Акустическое восприятие, позволяющее оценивать наиболее значимые повреждения, меняющие акустическую картину механизма. Весьма эффективно при различении повреждений муфт, определении дисбаланса или ослабления посадки деталей, обрыве стержней ротора, ударах деталей. Диагностические признаки – изменение тональности, ритма и громкости звука.

2. Анализ колебаний механизмов. В этом методе механические колебания корпусных деталей преобразуются в звуковые колебания при помощи технических или электронных стетоскопов. Предпринимаются попытки расширить возможности человеческого восприятия, используя электронные средства.

В механических устройствах, степень повреждения определяется по характеру взаимодействия контактирующих деталей. Физическое явление соударения деталей во время работы реализуется в виде распространения упругих волн акустического диапазона, возникновения механических колебаний (вибраций) и ударных импульсов. Несмотря на единую физическую природу, каждое из этих проявлений имеет свои особенности и различным образом отображает происходящие процессы.

Упругие волны, порождающие акустические колебания, имеют частотный диапазон 20...16000 Гц и прослушиваются специалистом, находящимся рядом с оборудованием. Все слышимые звуки разделяются на шумы и музыкальные звуки. Первые представляют собой непериодические колебания с переменной частотой и амплитудой, вторые — периодические колебания. Между музыкальными звуками и шумами нет четкой границы. Акустическая составная часть шума часто носит ярко выраженный музыкальный характер и содержит разнообразные частоты (тоны), которые легко улавливаются опытным ухом.

Основными свойствами звука являются: громкость, высота и тембр.

Громкость зависит от амплитуды колебаний звуковой волны. Сила звука и громкость – неравнозначные понятия. Сила звука объективно характеризует физический процесс, а громкость определяет качество воспринимаемого звука. Сила звука может меняться от слухового порога (порога слышимости) до болевого порога. Для низких частот громкость воспринимается в большей степени, чем для высоких, при одинаковой амплитуде колебаний звуковой волны. Можно оценивать изменения громкости в 2, 3, 4 раза, оценить увеличение громкости более чем в 4 раза точно не удается.

Высота звука отражает частоту колебаний звуковой волны. Нижняя граница слуха у человека составляет 15...19 Гц; верхняя – 15000...20000 Гц. Чувствительность уха имеет индивидуальные отклонения. Частоты 200...3500 Гц соответствуют спектру человеческой речи. Минимальная длительность звука, при которой можно оценить спектральный состав акустических колебаний - 20...50 мс. При меньшей длительности звук воспринимается как щелчок.

При воздействии частот выше 15000 Гц ухо становится менее чувствительным, теряется способность различать высоту тона. При 19000 Гц предельно слы-

шимыми оказываются звуки, более интенсивные, чем при 14000 Гц. При повышении интенсивности высоких звуков возникает осязание звука, а затем чувство боли. Область слухового восприятия ограничена сверху порогом осязания, снизу порогом слышимости. Наиболее воспринимаемы звуки в диапазоне 1000 до 3000 Гц. В этой области ухо является наиболее чувствительным. Повышенная чувствительность в области 2000...3000 Гц объясняется собственными частотами барабанной перепонки.

Под тембром понимают характер или окраску звука, зависящую от взаимоотношения составляющих частот. Тембр отражает акустический состав звука - число, порядок и силу составляющих (гармонических и негармонических). Тембр зависит от того, какие гармонические частоты складываются с основной частотой, и от амплитуды составляющих частот. В слуховых ощущениях тембр сложного звука играет значительную роль.

Скорость распространения звуковых волн зависит от плотности среды-проводника. Скорость звука в воздушной среде составляет 340 м/с; в воде - 1500 м/с; в стали - 5000 м/с.

Основные наблюдаемые отклонения акустических шумов.

Глухие толчки при изменении направления вращения валов механизма соответствуют износу: шпоночных или шлицевых соединений, элементов муфт, повышенному зазору в зубчатой передаче.

Слабые стуки низкого тона соответствуют сколам шлицов, ослаблению шпоночного соединения, несоосности соединительных муфт.

Резкий металлический звук сопровождает повреждения соединительных муфт. Свистящий звук возникает при проскальзывании ремней ременной передачи. Частые резкие удары соответствуют биениям муфт, неправильной сборке карданных валов.

Прослушивание механических колебаний, возникающих при работе механизма является самым распространенным методом определения состояния работающего оборудования. Механические колебания низкой и средней частоты легко распространяются по корпусным деталям механизма. Для прослушивания механических колебаний используется технический стетоскоп, состоящий из металлической трубки и деревянного (а лучше текстолитового) наушника (рис. 1). Металлическая трубка, установленная на корпусе механизма, позволяет преобразовать механические колебания в акустические, распространяемые внутри трубки к наушнику по акустическому каналу – воздуху, находящемуся в трубке. Этот метод настолько доказал свою надежность, что требования по прослушиванию шумов механизмов включены во все правила технического обслуживания и инструкции по эксплуатации оборудования.

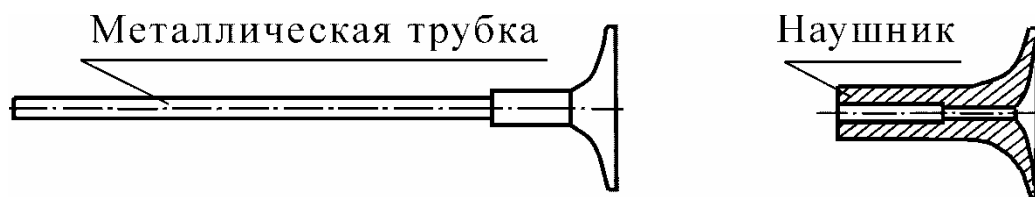


Рис.1. Схема технического стетоскопа

Как всякий инструмент, преобразующий механические колебания в звуковые, технический стетоскоп имеет свои индивидуальные звуковые особенности. Характер преобразования звука техническим стетоскопом зависит от длины, диаметра трубки, толщины стенки, материала, формы наушника. Все это влияет на частоту собственных колебаний стетоскопа. Прослушиваемые шумы, имея свои отличия, в тоже время едины в отображении звуковых картин повреждений механизма. Возможные реализации технических стетоскопов весьма разнообразны (рис. 2).



Рис.2. Примеры исполнения технических стетоскопов: а) технический стетоскоп GA111С для прослушивания машинных шумов и стуков, имеет диафрагму звукового усиления; б) технический стетоскоп КА-6323 для прослушивания шумов в механической части двигателя, трансмиссии

Сейчас, при прослушивании шумов, используют электронные стетоскопы (рис. 3). Щуп прибора устанавливается на корпусе механизма. Электрический сигнал, снимаемый с пьезоэлектрического датчика, подается на усилитель звуковой частоты, а затем в звукозащитные наушники. По частоте и силе звука судят о наличии повреждений в контролируемом механизме и об их характере. Электронные стетоскопы выпускаются многими фирмами, в том числе фирмой SKF.

К преимуществам электронных стетоскопов следует отнести: высокое качество звука и возможность сосредоточиться на распознавании повреждения благодаря звукозащитным наушникам. Недостатки: регулировка громкости лишает оператора основного преимущества – оценки степени повреждения, высококачественные наушники не позволяют услышать предупреждение об опасности в производственных условиях.

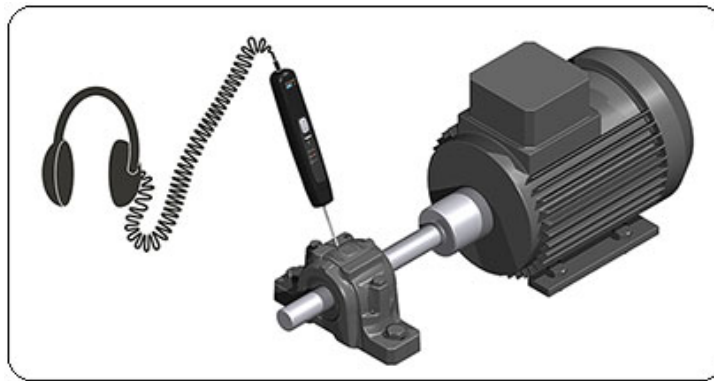
Утверждение о возможности использования стетоскопа без подготовки необоснованно. Наиболее сложной задачей является процесс распознавания шумов и определения видов повреждений. Этот процесс трудно формализовать. Много зависит от квалификации и опыта человека, использующего этот метод. Очень трудно заменить квалифицированного механика с его субъективным мнением.



а)



б)



в)

Рис.3. Электронные стетоскопы выпускаемые фирмой SKF:  
а) TMST2; б) TMST3; в) применение TMST3

Предпринимаются попытки расширить возможности человеческого восприятия, используя электронные средства. Например, ультразвуковые стетоскопы позволяют прослушивать не воспринимаемый слухом диапазон ультразвуковых колебаний, связанный с повреждениями подшипников качения, искровыми разрядами, утечками газа (рис. 4).



а)



б)

Рис.4. Ультразвуковые стетоскопы производства фирмы SKF:  
а) ультразвуковой детектор утечек TMSU 1; б) CMIN 400-K Inspector 400

Любой газ, просачиваясь из области высокого давления в область низкого давления, создает турбулентность. Турбулентность создает высокочастотный звук, который можно определить с помощью электронного стетоскопа преобразующего неслышимый ультразвук (20...100 кГц) в акустический.

Аналогичным образом можно услышать электрические разряды, кавитацию в трубопроводах, повреждения подшипников и зубчатых передач, избежать случаев избыточного смазывания. Однако следует помнить, что данный метод в большей степени индикаторный и не позволяет получить точной количественной оценки степени повреждения.

Степень повреждения определяется интенсивностью шума. Шум, вызывающий болевые ощущения при прослушивании техническим стетоскопом, является пределом эксплуатации деталей. Использование электронного стетоскопа предполагает сравнение интенсивности шума однотипных элементов.

Шумы механизма, создаваемые колебаниями работающих механизмов, носят импульсный характер. Увеличение зазора между сопрягаемыми деталями приводит к перераспределению энергии по частотным диапазонам, повышению уровня сигнала на более высоких частотах. Амплитуда колебаний характеризует динамику работы кинематической пары, степень повреждения, а частота – источник колебаний. Значительные повреждения сопровождаются нарушением стабильности звучания, появлением высоких частот и возрастанием силы звука. Решение задачи распознавания шумов и видов повреждений основывается на знании характерных шумов элементов механизма.

Характерные шумы подшипников качения:

1. Незначительный ровный шум низкого тона свидетельствует о нормальном состоянии подшипника качения.
2. Глухой прерывистый шум - загрязнённость смазки.
3. Звонящий (металлический) шум - недостаточная смазка, возникает также при повышенном радиальном зазоре.
4. Свистящий шум указывает на взаимное трение скольжения деталей подшипникового узла.
5. Скрежет, резкое частое постукивание возникает при повреждениях сепаратора или тел качения.
6. Глухие периодические удары - результат ослабления посадки подшипника, дисбаланса ротора.
7. Воющий звук, скрежетание, гремющий шум, интенсивный стук указывают на повреждение элементов подшипника.

Шумы, характерные для зубчатых передач:

1. Ровный жужжащий шум низкого тона характерен для нормальной работы зубчатой передачи. Косозубая передача в этом случае имеет ровный воющий шум низкого тона.
2. Шум высокого тона, переходящий с увеличением частоты вращения в свист и вой, и непрерывный стук в зацеплении происходит при искажении формы работающих поверхностей зубьев или при наличии на них местных дефектов.

3. Дребезжащий металлический шум, сопровождающийся вибрацией корпуса, возможен вследствие малого бокового зазора или несоосности, непараллельности колёс.

4. Циклический (периодический) шум, появляющийся с каждым оборотом колеса, то ослабевающий, то усиливающийся, указывает на эксцентричное расположение зубьев относительно оси вращения. Устранить такой шум в редукторе практически невозможно.

5. Циклические удары, грохот, глухой стук – излом зуба.

Шумы, характерные для подшипников скольжения:

1) нормальной работе соответствует монотонный и шелестящий шум;

2) отсутствию смазки соответствует свист высокого тона, скрежет;

3) задирам на поверхности подшипников скольжения, несоосности валов и выкрашиванию соответствуют периодические удары, резкое металлическое постукивание.

При смазке подшипника скольжения кольцом: отсутствию смазки соответствует звенящий металлический шум; повышенной вязкости масла соответствуют циклические удары низкого тона.

Помимо использования для анализа состояния механизма естественных шумов, сопровождающих его работу, в практике органолептической звуковой диагностики используется также звук, возникающий при «простукивании» элементов механизма. Так, звон металлических деталей при ударе, например, молотком, используется для определения наличия дефектов. Звук, издаваемый стальной деталью, содержащей дефект, дребезжащий, более низкий и глухой по сравнению со звуком бездефектной детали, имеющий чистый, высокий звук. Данный метод достаточно эффективен применительно к контролю затяжки резьбовых соединений, целостности деталей простой формы. В более сложных случаях его использование ограничено.

Помимо шумов механического происхождения используются также звуки порождённые электрической частью механизма. Так, воющий звук, исчезающий при отключении питания электродвигателя, указывает на повреждения в его электрической части.

Указанные виды шумов в чистом виде проявляются редко. Акустическая картина механизма состоящая из совокупности шумов всех элементов, определяется размерами, особенностями смазывания, нагрузками, температурой и другими факторами. Поэтому, приведенная классификация служит исходной информацией при расшифровке конкретной акустической картины механизма. Качество расшифровки и правильность постановки диагноза зависит от квалификации, подготовленности и опыта механика.

### **Выводы.**

1. Несмотря на интенсивное развитие автоматизированных систем контроля технического состояния механизмов органолептические методы оценки их технического состояния остаются важной составной частью работы специалистов, обслуживающих оборудование в процессе эксплуатации.



2. Среди органолептических методов оценки технического состояния механизмов наиболее широко распространённым в повседневной практике является звуковая диагностика, основанная на анализе шумов, возникающих при работе механизма или вызываемых искусственно - путем простукивания металлических частей механизма.

3. Качество органолептической звуковой диагностики существенно зависит от подготовленности и опыта механика. В связи с этим актуальным направлением дальнейших исследований является разработка комплексных рекомендаций по использованию органолептической звуковой диагностики в сочетании с автоматизированными средствами контроля технического состояния механизмов.

#### Список литературы

1. Элькин И.Л. Испытания угледобывающих машин / И.Л. Элькин, С.С. Казаков, Г.Е. Шевченко. – М.: Недра, 1980. – 287 с.
2. Кравченко В.М. Техническое обслуживание и диагностика промышленного оборудования / В.М. Кравченко. – Донецк: ООО «Юго – Восток Лтд», 2004. – 504 с.
3. Кравченко В.М. Техническое диагностирование механического оборудования / В.А. Сидоров, В.Я. Седуш - Донецк: «Юго-Восток», 2009.- 459 с.
4. Биргер И.А. Техническая диагностика /И.А. Биргер. - М.: Машиностроения, 1978. - 240 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.  
Надійшла до редакції 11.05.11*

УДК 622.272.3: 622.418: 628.518

© О.А. Бойко

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛООБМЕНА В ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКЕ С ТЕПЛОУРАВНИВАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКОЙ**

Розроблений аналітичний метод розрахунків припливу тепла з гірського масиву в розташовану в ньому виробку, що враховує формування циліндричної теплоізолюючої оболонки гірських порід навколо виробки за рахунок їх теплопровідності. Із застосуванням Mathcad 11 Enterprise визначений термічний опір теплоізолюючих оболонок тепловому потоку й розраховані величини питомого теплового потоку для основних типів гірських порід глибоких горизонтів (піщанику, сланців і вапняку). Запропоновані для використання деякі способи й засоби зниження припливу тепла гірського масиву у виробку.

Разработан аналитический метод расчета притока тепла из горного массива в расположенную в нем выработку, учитывающий формирование цилиндрической теплоуравнивающей оболочки горных пород вокруг выработки за счет их теплопроводности. С применением MathCAD 11 Enterprise определено термическое сопротивление теплоуравнивающих оболочек тепловому потоку и рассчитаны величины удельного теплового потока для основных типов горных пород глубоких горизонтов (песчаника, сланцев и известняка). Предложены для использования некоторые способы и средства снижения притока тепла горного массива в выработку.

Developed suitable for the engineering technique an analytical method for calculating the heat flow from the mountain, located in its production, taking into account the formation of a cylindrical

heat equalizing shell of rocks around headings due to their thermal conductivity. Using MathCAD 11 Enterprise is defined thermal resistance of heat equalizing shell for heat flux and calculated values of specific heat flux for the main types of rocks deep horizons (sandstone, shale and limestone) during cooling of the rock mass moving in the elaboration of different air flow rate. Author proposes to use some of the ways and means of reducing heat flow in the production of the massif.

Проведение горных выработок на глубоких горизонтах шахт Донбасса сопряжено с большими трудностями, связанными с высокой естественной температурой горных пород, интенсивным тепловыделением в горную выработку, малым расходом воздуха, подаваемого в забой подготовительной выработки, и отсутствием достаточно мощных передвижных кондиционеров для охлаждения воздуха. Особые сложности возникают при скоростном проведении длинных горных выработок. В ФРГ на шахте «Виктория 1/2» потребовалось в короткий срок пройти по породам с естественной температурой  $49^{\circ}\text{C}$  квершлаг длиной 4100 м площадью поперечного сечения  $28\text{ м}^2$ . Проходка осуществлялась комбайном бурового действия фирмы «Демаг». Суммарная мощность электродвигателей оборудования в призабойной части выработки составляла 1100 кВт. Для обеспечения нормальных условий труда в забое потребовалось подавать воздух по трубопроводу диаметром 1,2 м., установить на расстоянии не более 30 м от забоя 2 воздухоохладителя холодопроизводительностью по 233 кВт каждый, создать 2 каскада воздухораспределительных устройств на расстоянии 7 и 16 м от забоя и установить водяной ороситель и 2 пылеотсасывающих установки «Ротовент» для отсоса запыленного воздуха от режущей головки комбайна. Эта мощная техника смогла обеспечить температуру воздуха в призабойной части выработки  $28^{\circ}\text{C}$  при скорости проходки 20-23 м в сутки. К сожалению, нет сведений о расходе воды на орошение, но и так ясно, что суммарное тепловыделение в призабойной части превышало 466 кВт. Публикация не содержит сведений о характере изменения температуры воздуха по длине пройденной выработки.

В шахтах Украины такие рекорды проходки не ставились из-за отсутствия соответствующей техники и возможности разместить ее в выработке вдвое меньшего поперечного сечения. У автора статьи, занимающегося расчетными обоснованиями перспективных методов нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса, возник вопрос, в какой степени разработки НГУ по нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт Донбасса могут заменить описанный выше комплекс горной техники, в частности, какой эффект может обеспечить применение ускоренного формирования теплоуравнивающей оболочки (ТО) вокруг проводимой горной выработки. Опубликованные школой академика А. Н. Щербаня сведения об этих оболочках весьма скромные. В опубликованных нами работах [1,2,3] рассмотрены оболочки большого диаметра (20м). Формирование таких оболочек в период проходки невозможно. Желание получить возможную информацию об оболочках сравнительно небольшой толщины, которые могут быть сформированы в сравнительно короткий срок в процессе проходки горных выработок, явилось целью выполнения излагаемых ниже результатов исследований.

Исходные условия решаемых задач: квершлаг площадью поперечного сечения 14м<sup>2</sup> проходится по типовым для глубоких горизонтов Донбасса горным породам - песчанику, песчанистым сланцам и известняку. Примем условие, что охлаждение горного массива по трассе проходки осуществляется охлажденной водой с применением опережающей скважины. Схема такой системы приведена в [4]. Эквивалентный диаметр выработки составляет 4 м, толщина сформированной оболочки до 2 м.

Цель теплового расчета - установить величину извлечения тепла из горного массива в зоне ТО, величину термического сопротивления горного массива, суммарную величину термического сопротивления удельному тепловому потоку из горного массива в атмосферу выработки и на их основе определить необходимое количество холода для формирования ТО заданного радиуса в породах соответствующего типа в период проходки выработки, а также подачу холода в выработку для поддержания постоянного температурного режима на протяжении всего срока ее службы при отработке запасов угля вскрытой части пласта.

В целом, для достижения поставленной задачи требуется исследовать функцию вида:

$$q := f(\lambda, c, F, \varepsilon, G, w, tp, tv, R_0, d, a, \Delta). \quad (1)$$

где  $q$ -удельный тепловой поток,  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности горной породы,  $c$ -теплоемкость породы,  $F$ - площадь поперечного сечения выработки,  $\varepsilon$  – коэффициент шероховатости стенки выработки,  $G$ -объемный вес горной породы,  $w$ - скорость движения воздуха,  $tp$ -естественная температура горной породы,  $tv$ - температура охлаждающей среды (воды или воздуха),  $R_0$  (либо  $r_1$ ) -эквивалентный радиус выработки,  $d$ -внешний диаметр (либо  $r_2$ -радиус) теплоуравнивающей оболочки,  $a$ -коэффициент температуропроводности горной породы,  $\Delta$ - толщина термоизоляции.

Для решения поставленной задачи методом математического моделирования нами используется система MathCAD 11 Enterprise Edition, в программу которой включены упомянутые выше исходные параметры и необходимые расчетные аналитические зависимости.

Результаты расчетов выдаются компьютером в табличной форме и в виде графиков. Ограниченный объем статьи дает возможность привести лишь некоторые результаты расчетов, дающие представление о порядке решения упомянутого выше комплекса задач. Естественная температура пород горного массива на проектной глубине ведения горных пород определена по стандартной методике прогноза температуры горных пород, разработанной МакНИИ, на основании проектной глубины ведения горных работ и геотермической ступени для региона расположения шахты. Изменение температур по радиусу теплоуравнивающей оболочки принято подчиняющимся логарифмическому закону распределения температур в цилиндрической оболочке

$$f1(r) := tp1 - (tp1 - tv) \cdot \frac{\ln(r/r2)}{\ln(r1/r2)} \quad (2)$$

с внутренним радиусом, равным эквивалентному радиусу выработки, и внешним, равным расчетному или принятому диаметру ТО. Температура на внутренней поверхности принята равной нормативной температуре воздуха в выработке, а на внешней границе ТО - равной естественной температуре горного массива на расчетной глубине. Шахта расположена в Донецко-Макеевском районе. Естественная температура горных пород подсчитана для горизонтов от 1300 до 1800 м с интервалом 100 м.

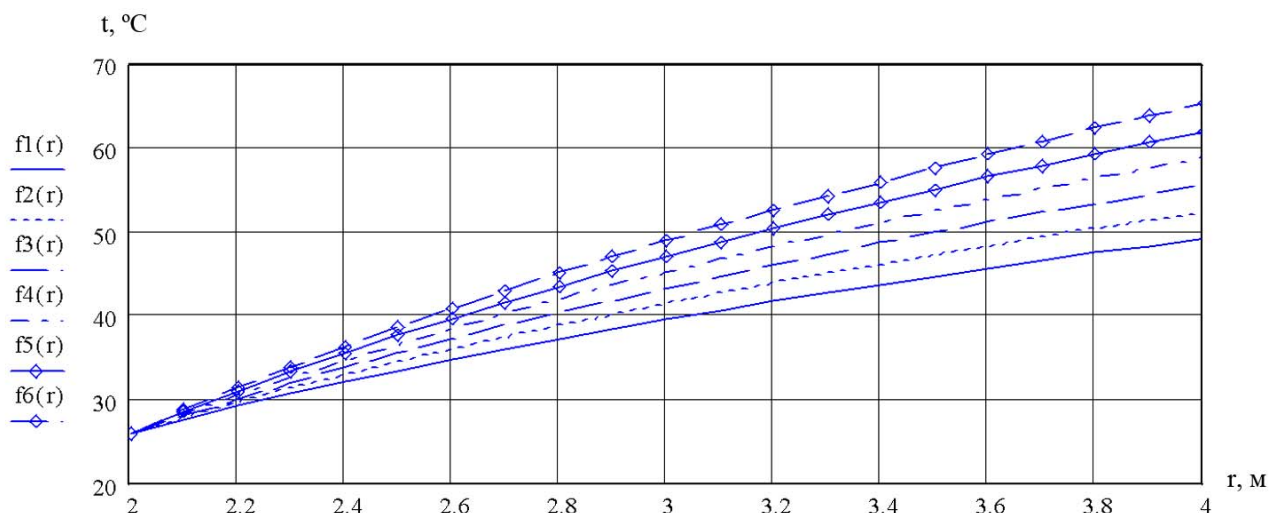


Рис.1. Изменение температуры в теплоуравнивающей оболочке для глубин ведения горных работ: 1300м-f1(r); 1400м-f2(r); 1500м – f3(r); 1600м – f4(r); 1700 м – f5(r); 1800м-f6(r)

Сохраняя принятую на рис.1 разбивку для теплоуравнивающей оболочки – 10 коаксиальных цилиндров толщиной по 0,2 м, определим для каждого из них величину отведенного количества тепла при формировании теплоуравнивающей оболочки. Количество отведенного тепла определяется как произведение массы соответствующего коаксиального цилиндра на теплоемкость породы и величину изменения температуры по зависимости (3):

$$f7(r) := 2 \cdot \pi \cdot c \cdot G \cdot (tp1 - f1(r)) \cdot \int_{r1}^r r dr, \quad (3)$$

где  $c$  - массовая теплоемкость породы;

$G$  - объемный вес породы;

$tp1$  - естественная температура породы;

$f1(r)$  - расчетная температура по зависимости (2).

Интеграл определяет площадь сечения соответствующего коаксиального цилиндра, а поскольку расчет ведется для отрезка выработки единичной длины (1 м), то вычисленная величина равна объему цилиндра. На рис.2 приведены величины распределения количества тепла, подлежащего выносу из массива теплоуравнивающей рубашки в песчанике для расчетных глубин ведения горных пород. По оси абсцисс отложена величина радиуса ТО.

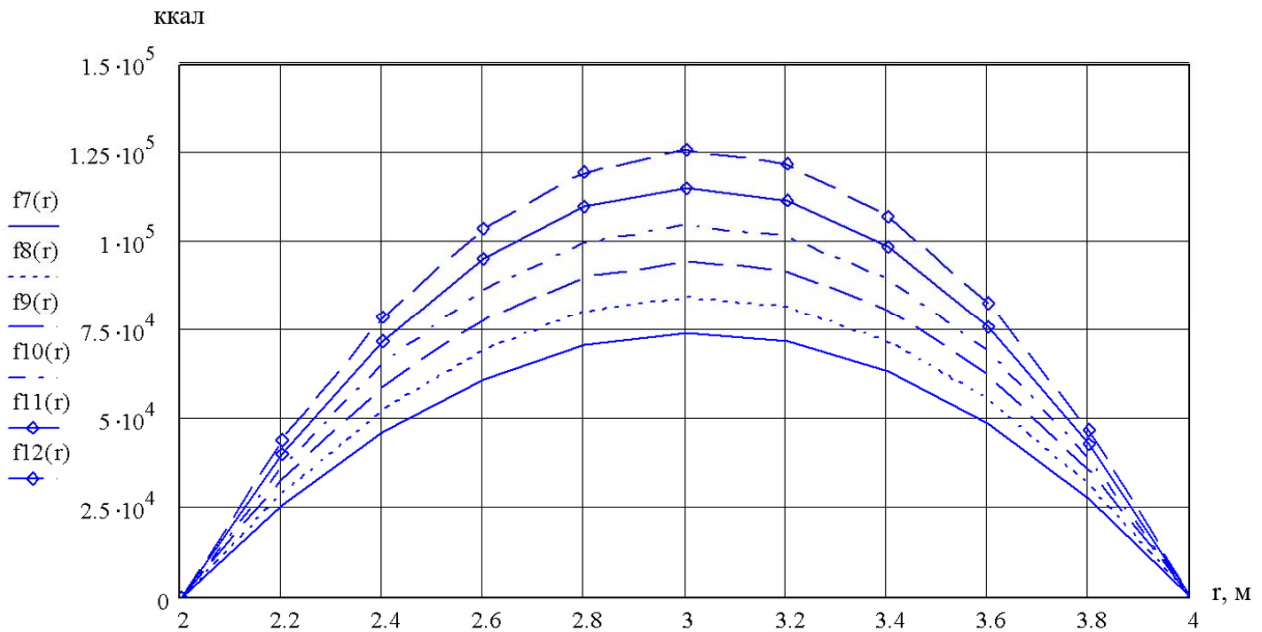


Рис.2. Изменение количества тепла, подлежащего выносу из горного массива для формирования теплоуравнивающей оболочки вокруг горной выработки в песчанике на глубине ведения горных работ: f7(r)-1300, f8(r)-1400, f9(r) -1500, f10(r)-1600, f11(r)- 1700, f12(r)- 1800 м

Для определения суммарного количества тепла, подлежащего выносу при формировании отрезка оболочки единичной длины, необходимо произвести суммирование распределенных по радиусу величин количества тепла. Эта операция выполнена с помощью функции:

$$s2(r) := \begin{cases} s \leftarrow 0 \\ \text{for } i \in 2, 2.2..r \\ s \leftarrow f8(i) + s \end{cases} \quad (4)$$

Результаты расчета приведены на рис. 3.

Термическое сопротивление теплоуравнивающей оболочки определяется зависимостью

$$f1(r) := \frac{2 \cdot \pi \cdot \lambda p}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)}, \quad (5)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности горной породы;  
 $r$  и  $r_1$  - соответственно текущий и максимальный расчетный радиусы теплоуравнивающей оболочки.

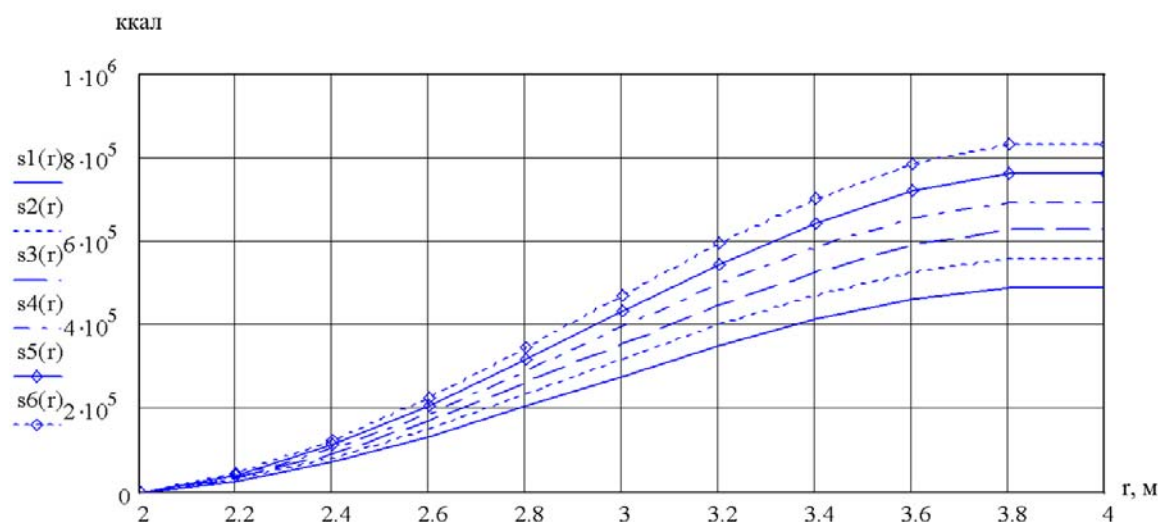


Рис.3. Характер распределения суммарного количества тепла, подлежащего выносу при формировании теплоуравнивающей оболочки вокруг отрезка горной выработки единичной длины на горизонте:  $s_1(r)$ -1300,  $s_2(r)$ -1400,  $s_3(r)$ -1500,  $s_4(r)$ -1600,  $s_5(r)$ -1700,  $s_6(r)$ -1800 м

Характер изменения термического сопротивления теплоуравнивающей оболочки в функции ее толщины (радиуса), подсчитанного по зависимости (5) для типовых пород глубоких горизонтов шахт Донбасса представлен на рис.4.

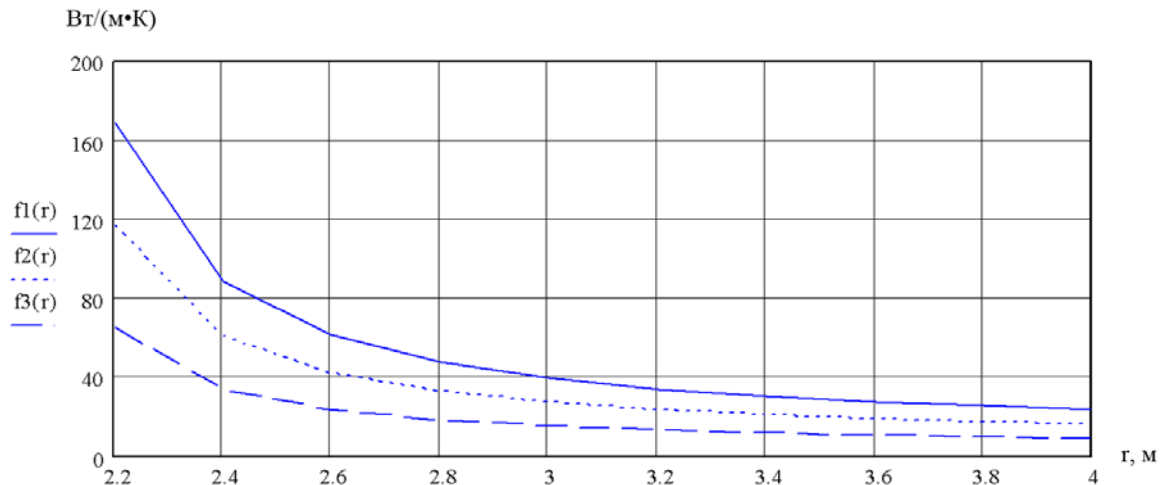


Рис.4. Изменение величины термического сопротивления ТО единичной длины в функции радиуса:  
 $f_1(r)$ -для песчаника,  $f_2(r)$ -для сланца,  $f_3(r)$ -для известняка

Наличие сведений о характере изменения термического сопротивления теплоуравнивающей оболочки является полезной информацией, но полученные расчетные величины будут действительными не во всех случаях. Причина этого кроется в том, что горная порода не всегда является конечным звеном в цепи передачи тепла, в подавляющем большинстве случаев после проходки выработки тепло

горного массива передается проветриваемому горную выработку воздуху. В этом случае интенсивность передачи тепла в значительной степени зависит от скорости движения воздуха, существенно влияющей на коэффициент теплоотдачи стенки горной выработки контактирующей с ней среде. Здесь играет большую роль степень турбулизации охлаждающего потока, его температура и теплоемкость. неподвижный воздух оказывается хорошим препятствием на пути теплового потока. В период проходки горной выработки теплоуравнивающая оболочка эффективно передает тепло, а ее термическое сопротивление имеет расчетную величину, показанную на графиках рис.5, только в том случае, если порода контактирует с водой. Поэтому требуется максимально использовать орошение стенок горной выработки в период, пока она не закрыта деревянной затяжкой или крепью.

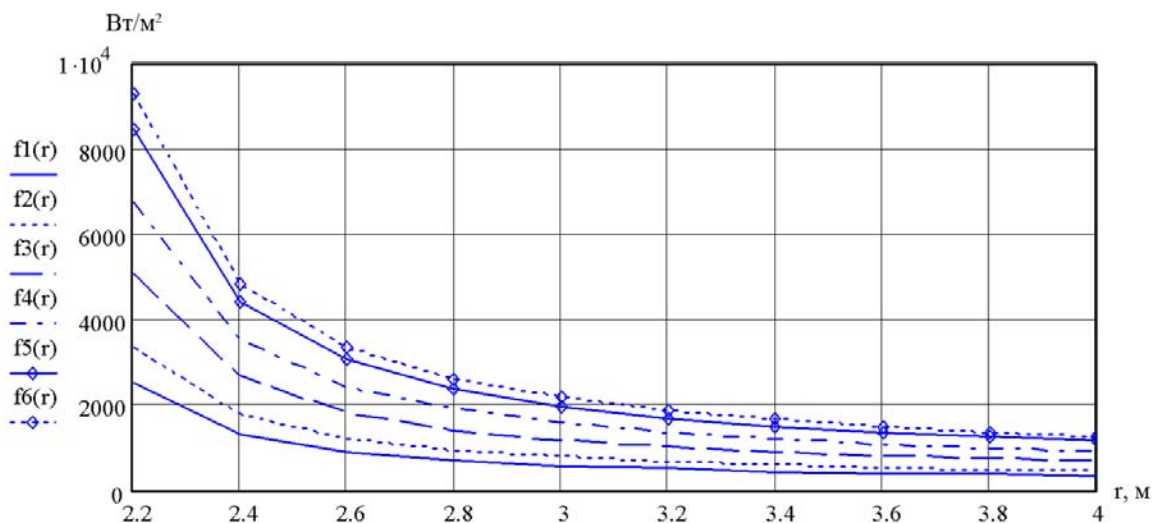


Рис.5. Предельная величина удельного теплового потока в функции естественной температуры горных пород и радиуса ТО в песчанике

В горной теплофизике имеется специальный термин, который показывает, какое количество тепла поступает в горную выработку с одного квадратного метра стенки. Носит он название удельного теплового потока. Как и в выполненных выше расчетах, воспользуемся аналитической зависимостью, вывод которой не приводится в статье. В списке литературы в конце статьи содержатся сведения о дополнительных параметрах и закономерностях, использованных в расчетах и некоторые выкладки формул [5,6]

$$f1(r) := \frac{2\pi \cdot \lambda p (tp1 - tv)}{\ln\left(\frac{r}{r1}\right)} \quad (6)$$

**Выводы.**

1. Опыт развитых стран, ведущих горные работы по добыче золота, алмазов, угля и руд на больших глубинах, свидетельствует о том, что проходка тупиковых горных выработок является одним из сложнейших процессов горной технологии, требующих применения сложной горной техники для ведения технологического процесса проведения горных выработок, специальной техники обеспечения ком-

фортных условий труда. Факторами опасности этих работ являются ядовитые газы взрывчатых веществ, пыль, высокая температура, а также механический травматизм из-за стесненного рабочего пространства.

2. Основой нормализации микроклимата подготовительных горных выработок в период их строительства являются мощные системы кондиционирования воздуха и эффективная вентиляция.

3. Подготовительные выработки зарубежных шахт и рудников имеют в 2-2,5 раза большие сечения горных выработок по сравнению с типовыми горными выработками шахт Донбасса, что позволяет применить в период строительства трубопроводы большого диаметра, подавать значительные объемы воздуха на проветривание и обеспечивать доставку значительного количества холода в забои.

4. Развитые страны, как правило перешли на выпуск шахтных холодильных установок, использующих винтовые компрессоры. Это позволяет обеспечивать холодом проходку мощными компактными холодильными установками, применять системы обдува свежееобнаженных поверхностей горных пород и снижать температуру окружающих горных пород.

5. Украина не производит холодильной техники для систем центрального кондиционирования воздуха в глубоких шахтах, но начала пионерную проработку водоохлаждающей холодильной машины на основе винтового компрессора холодопроизводительностью 1 МВт.

6. Предварительная оценка параметров охлаждения горного массива способами и средствами, разработанными в НГУ – способа охлаждения горных пород по трассе проходки выработки опережающей забой скважиной, защиты горнорабочих от перегрева с помощью радиационного кондиционера, оросительное охлаждение стенок горных выработок за экраном кондиционера – способны создать нормальные условия труда в подготовительной горной выработке. Применение на проходке созданной ООО "Холодмаш" холодильной машины МХРВ-1 позволит обеспечить холодом проходку подготовительной выработки любой длины, заменив группу из 6-8 кондиционеров КПШ. Доставка холода охлажденной водой создает благоприятные условия для формирования ТО выработки

7. Анализ характера изменения распределения температур в горном массиве теплоуравнивающей оболочки показывает, что интенсивность притока тепла в горную выработку снижается в 4-5 раз уже при толщине теплоуравнивающей оболочки в 1 метр, поэтому не потребуются больших количеств воды для извлечения и выноса тепла горного массива ТО.

8. Проводимые в Украине работы по обеспечению нормализации тепловых условий в горных выработках глубоких шахт следует ориентировать на применение новых разрабатываемых в стране способов ведения горных работ с применением технологий, ориентированных на извлечение тепла недр Земли. Система нормализации тепловых условий при проведении горных выработок должна предусматривать извлечение и использование тепла горного массива для технологических и утилитарных целей.



#### Список литературы

1. Бойко В. А. Разработка способа и средств формирования теплозащитной оболочки горных выработок глубокой шахты и оценка влияния ее параметров на теплоприток из горного массива //Мат. международной конференции “Форум горняков 2009”, секция “Рудничная аэрология и безопасность труда” / В. А. Бойко, О. А. Бойко. – Д.: НГУ, 2009. – С. 57-73.
2. Бойко В.А. Проблема нормализации микроклимата глубоких шахт Донбасса, способы и средства ее решения //Мат. международной конференции “Форум горняков 2009”, секция “Строительство шахт и подземных сооружений” / В. А. Бойко, О. А. Бойко. – Д.: НГУ, 2003. – С. 142-153.
3. Бойко В. А. Оценка теплового потенциала горного массива глубокой шахты Донбасса и возможностей типовой схемы нормализации условий труда //Сборник научных трудов НГУ №16 / В. А. Бойко, О. А. Бойко. – Д.: РВК НГУ, 2003. – С. 113-124.
4. Бойко В. А. Способ и средства нормализации микроклимата горных выработок глубоких шахт в период их строительства //Збірник наукових праць НГУ №32 / В. А. Бойко, О. А. Бойко. – Д.: РВК НГУ, 2009. – С. 214-225
5. Бойко В. А. Способ ускоренного формирования теплоуравняющей рубашки горной выработки глубокой шахты //Збірник наукових праць НГУ №33, Т.2 /В. А. Бойко, О. А. Бойко. – Днепропетровск: РВК НГУ, 2009. – С. 113-125
6. Бойко В. А., Бойко О. А. Аналитическая оценка системы охлаждения горного массива глубокой шахты с применением скважины, опережающей забой горной выработки //Науковий вісник НГУ №11-12 / В. А. Бойко, О. А. Бойко. – Д.: РВК НГУ, 2010. – С.106-113.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.  
Надійшла до редакції 24.05.11*

УДК 504.064

© Н.О. Непошивайленко, О.В. Зберовський, О.О. Карпенко,  
А.В. Галата, Т.К. Клименко

### **КОМПЛЕКСНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ДОВКІЛЛЯ НА ТЕРИТОРІЇ МІСТА ДНІПРОДЗЕРЖИНСЬКА З ВИКОРИСТАННЯМ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ**

Обґрунтовано використання інформаційних технологій під час моніторингу стану довкілля урбанізованих територій. Наведено приклади комплексного дослідження забруднення чи зміни якості атмосферного повітря, фізичного, геологічного, гідрогеологічного та біологічного середовища у місті Дніпродзержинську за допомогою програмного забезпечення *ArcGIS Desktop*. З використанням *ArcGIS* відпрацьована технологія складання відповідних шарів електронних карт.

Обосновано использование информационных технологий для мониторинга состояния окружающей среды урбанизированных территорий. Приведены примеры комплексного исследования загрязнения или изменения качества атмосферного воздуха, физической, геологической, гидрогеологической и биологической среды в городе Днепродзержинске с помощью программного обеспечения *ArcGIS Desktop*. С использованием *ArcGIS* отработана технология составления соответствующих слоев электронных карт.

Motivated use information technology for monitoring the condition surrounding ambiances industrial populated points. Cite an instance complex study of the contamination or change quality atmospheric air, physical, geological, underground and biological ambience in city Dneprodzerzhinske by means of software *ArcGIS Desktop*. With use *ArcGIS* it is perfected technology of the formation corresponding to layers of the electronic cards.

Проблема забруднення навколишнього середовища характерна для більшості промислових центрів України, де проживають до 50% усього населення країни. У зв'язку з цим важливим завданням є подальше вивчення причин, факторів і наслідків забруднення навколишнього середовища, узагальнення й аналіз даних спостережень з використанням новітніх інформаційних систем і технологій. Саме геоінформаційні системи дозволять повноцінно оцінити ситуацію й сприяти здійсненню обґрунтованих техніко-економічних заходів щодо пом'якшення впливу на біологічну складову довкілля та усуненню катастрофічних наслідків техногенного навантаження.

У роботі наведені результати довготривалих спостережень за станом складових довкілля на території м. Дніпродзержинська, а саме:

- атмосферного повітря внаслідок розсіювання викидів забруднюючих речовин від найпотужніших виробництв міста,

- геологічного та гідрогеологічного середовища через забруднення ґрунтів важкими металами та рівня залягання підземних вод на території міста,

- фізичного забруднення урбосередовища шляхом визначення рівня електромагнітного випромінювання, радіаційного фону та шумового навантаження в межах житлових кварталів міста,

- біологічного середовища за допомогою оцінки рівня озеленення території населеного пункту та визначення природних й антропогенних умов для поліпшення існуючих та облаштування потенційних зон коротко- та довготривалого відпочинку,

- медико-соціального стану шляхом оцінки рівню захворюваності та смертності дитячого населення у місті Дніпродзержинську.

Дослідження відповідних факторів оцінки навколишнього середовища проводилось з використанням програмного забезпечення *ArcGIS* рівня *ArcInfo*. Дане програмне забезпечення, при наявності даних спостереження, дозволяє наочно проаналізувати та оцінити окрему екологічну проблему у конкретний проміжок часу на відповідній території, а також спрогнозувати формування ореолів дослідного фактора й оцінити його розвиток та можливі наслідки впливу на суміжні складові довкілля населеного пункту.

З використанням *ArcGIS* відпрацьована технологія складання відповідних шарів електронних карт м. Дніпродзержинська, які дозволяють наочно відображати результати виміру (спостереження, оцінки) складової середовища та прогнозувати динаміку змін, враховуючи причинно-наслідкові зв'язки компонентів навколишнього урбосередовища. За допомогою геоінформаційних технологій проведено відповідні аналітичні розрахунки та обґрунтування зазначених екологічних проблем. Нижче наведено приклади деяких з них.

З використанням *ArcMap* розроблено електронну карту, що відображає місцерозташування основних джерел викидів Дніпродзержинського металургійного комбінату(ДМКД). Досліджено масштаби забруднення атмосферного повітря діоксидом сірки, азоту та бенз-а-піреном та розраховано потенційні ареали розсіювання зазначених речовин територією міста, як показано на рисунку 1.

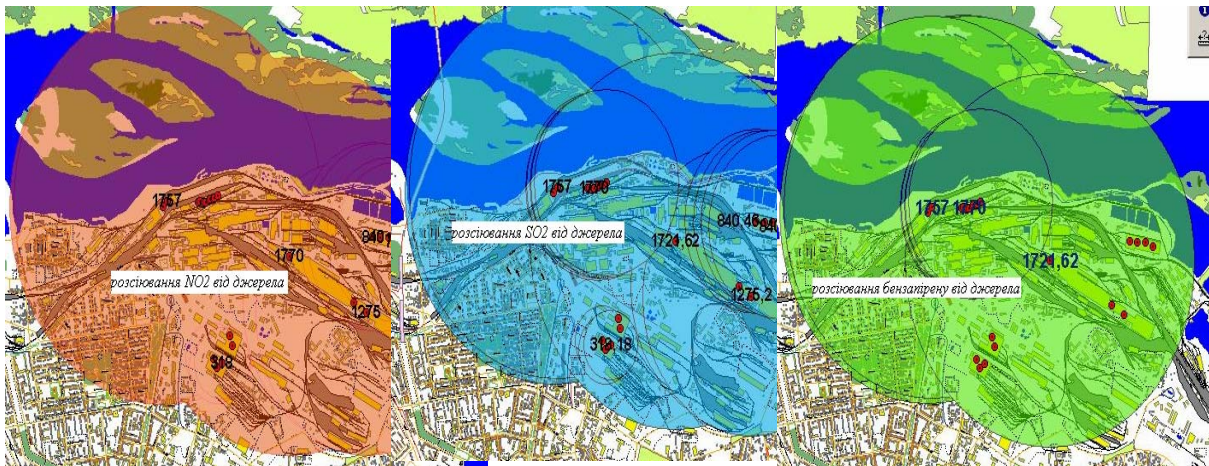


Рис. 1. Електронна карта розсіювання діоксиду сірки, азоту та бенз-а-пірену від основних джерел викидів ДМКД

Отримані результати вказують на ареали поширення забруднюючих речовин на відстані понад 1000м від джерела, що в окремих випадках перевищує розміри санітарно-захисних зон навколо промислового підприємства та спричиняють загрозу населенню, що мешкає в межах зазначених територій.

З метою виявлення причин підвищення рівня підземних вод (РПВ) у місті Дніпродзержинську створено шари електронної карти, що відображають місце розташування свердловин по яких ведеться спостереження за рівнем підземних вод, та свердловин, що розташовані в підтоплених районах міста; до свердловин додано інформацію про властивості ґрунту (пористість, вологість, водовіддача, коефіцієнт фільтрації ґрунтів). Складено карту підтоплення м. Дніпродзержинська з виділенням зон рівнів залягання підземних вод у вигляді діаграм (рис.2). Надано аналітичні результати оцінки причин підтоплення та виявлення його впливу на екологічний стан у місті Дніпродзержинську за допомогою засобів програмного забезпечення *ArcView*. З використанням *Geostatistical Analyst* побудовані ізолінії РПВ на підставі математичних моделей (ординарного кригинга), за допомогою якого відтворено карту проінтерпольованих значень РПВ й отримано достовірну карту розповсюдження РПВ та місць природного скиду рівня напруги підземних вод

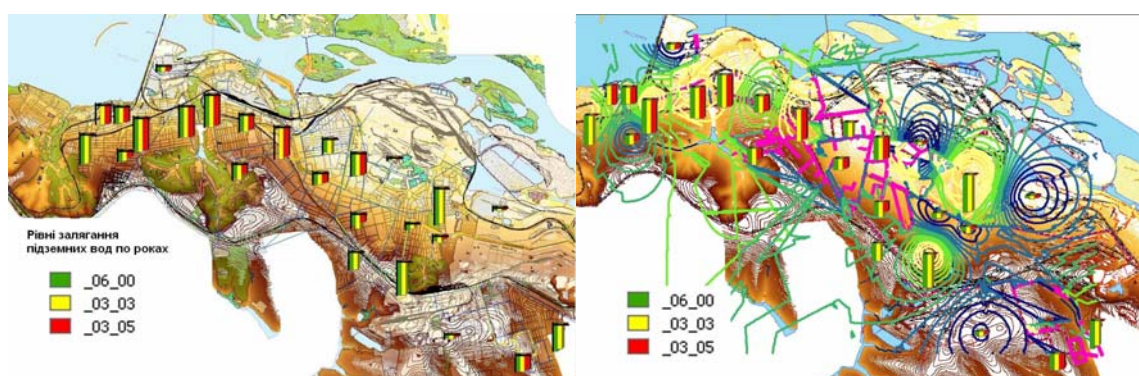


Рис. 2. Електронна карта РПВ та ізоліній їх напруг залежно від бар'єрних водоносних мереж м. Дніпродзержинська



Доповнено електронну карту міста розгалуженістю систем водонесних комунікацій шарами мереж водоспоживання, водовідведення та зливової каналізації (відкритої й закритої) додаючи їх інформацією щодо наявності оглядових люків, ґрат, матеріалу, з якого виконано трубопровід (рис.3).



Рис. 3. Електронна карта мереж водопостачання, водовідведення та мереж зливової каналізації, свердловин режимного спостереження за РПВ м. Дніпродзержинська

Впродовж аналізу електронних карт відведення води з території міста, отримали візуалізацію стану підземних вод, які вказують, що відсутність зливової системи та густа мережа водогону значно відображується на РПВ. З наданих карт видно, що заблоковані природні поверхневі стоки (балки та низини) за відсутності мереж зливової каналізації, створюють зазначені перешкоди на шляху розвантаження підземних вод до Дніпра, викликаючи їх спроможність надходити до поверхні землі та руйнувати міську інфраструктуру.

Проведено дослідження рівнів забруднення ґрунтів м. Дніпродзержинська важкими металами. Складено шари електронної карти м. Дніпродзержинська полів забруднення ґрунтів важкими металами.

Використання інструментів просторового аналізу Geostatistical Analysis дозволило провести статистичну обробку масиву отриманих даних та створити карти проінтерпольованих значень розподілу важких металів у ґрунтах м. Дніпродзержинська з використанням методу зважених відстаней (IDW). Побудова поверхні з використанням методу зважених відстаней наведено на рисунку 4.

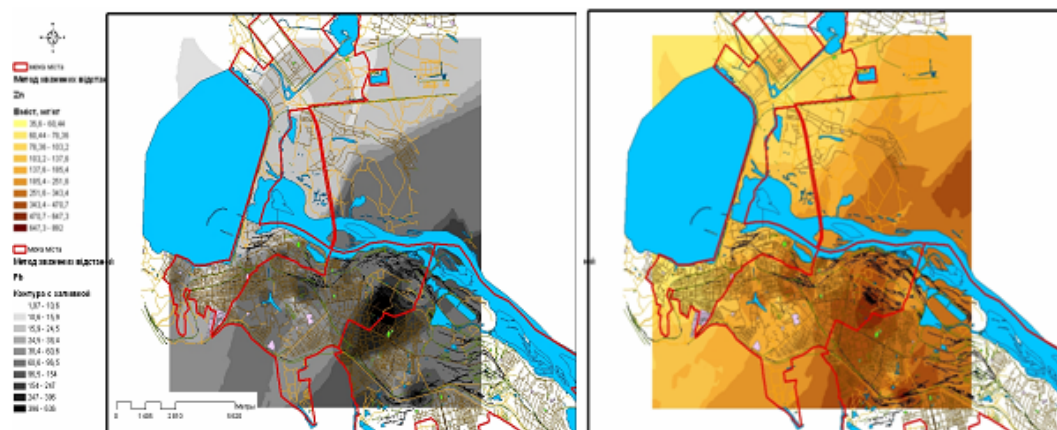


Рис. 4. Карта проінтерпольованих значень вмісту цинку та свинцю у ґрунтах міста Дніпродзержинська

Розроблено шар акустичного забруднення електронної карти м. Дніпродзержинська та проведено візуальний аналіз зазначеної проблеми. Геоінформаційний аналіз виконувався з використанням можливостей програмного забезпечення шляхом позначення точок виміру шуму, перевищень їх еквівалентних та максимальних значень у кожному конкретному випадку проведення замірів, порівняння між собою результатів виміру й аналізу виконання візуального розподілу по території акустичного забруднення.

Створено шар електронної карти міста Дніпродзержинська, що відображає електромагнітне випромінювання від антен базових станцій мобільного зв'язку. Відтворено антени по операторам та кожному присвоєно свій колір і розмір позначок, як зазначено на рисунку 5. Окреслено зони обмеження забудови в горизонтальній площині. Виявлено порушення зони обмеження забудови.

Створено карту радіаційного стану м. Дніпродзержинська за  $\gamma$ -випромінюванням. Для візуалізації замірів дані були градуйовані за категоріями зі збільшення діаметра точок у відповідності зі збільшенням значення рівню радіаційного фону (рис. 5). Методом побудови гістограм у Geostatistical Analyst проведено статистичну обробку даних дат  $\gamma$ -фону і визначено середнє значення рівню  $\gamma$ -фону території, яке складає  $0,12 \pm 0,02$  мкЗв/год. Результатом обробки даних вимірів методом зважених відстаней є карта інтерпольованих значень радіаційного фону території, яка наведена на рисунку 5.

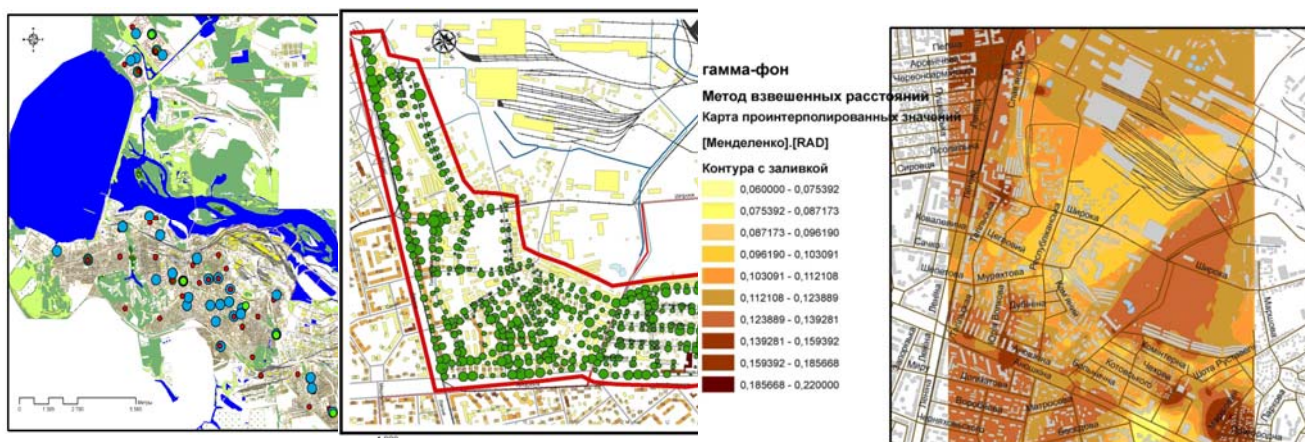


Рис. 5. Карта електромагнітного (антени базових станцій операторів мобільного зв'язку) та радіаційного (значення  $\gamma$ -фону) забруднення м. Дніпродзержинська

В межах розробки програми озеленення міста Дніпродзержинська, що полягає в обліку зелених насаджень селітебної частини м. Дніпродзержинська, відпрацьовано технологію проведення технічної інвентаризації об'єктів озеленення за існуючими нормативними положеннями щодо виконання робіт. Електронну інвентаризаційну карту виконано з використанням програмного забезпечення *ArcMap Version 9.1*, за допомогою якого нанесено на електронну карту міста усі форми зелених насаджень та проведено аналіз отриманих результатів. Електронна карта озеленення складається з шарів, об'єднаних у фрейм даних під назвою «zelen»



(рис.6). Фрейм даних має такі шари: „Дерева”, „Чагарники”, „Газони”. Кожний об’єкт зеленого господарства електронної карти згідно з порядковим номером містить характеристики: дерева – вид насаджень, породний склад, висота та якісний стан; чагарники – вид насаджень, порода, кількість кущів чи протяжність рядової посадки, стан; газони – вид насаджень, площа та якісний стан.

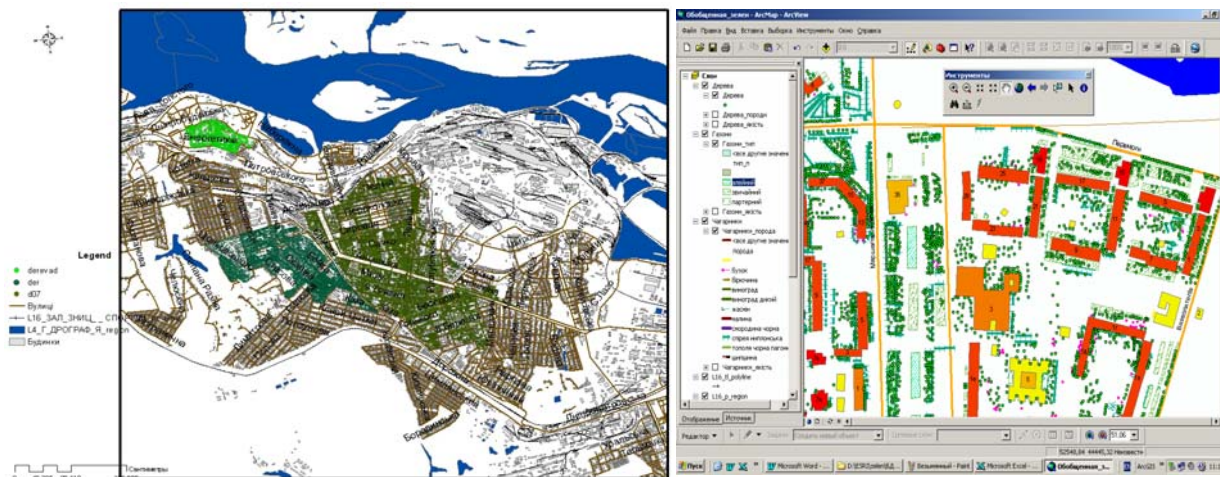


Рис. 6. Електронна карта зелених насаджень м. Дніпродзержинська

Об’єктом дослідження захворюваності дитячого населення м. Дніпродзержинська була дитяча міська лікарня №6, дільнична мережа якої представлена трьома структурними підрозділами. Складено карту районів мешкання дитячого населення по поліклінічним відділенням та рівня захворюваності дітей до 14 років по поліклінічним відділенням. Геоінформаційний аналіз показав, що більшість високих рівнів захворюваності спостерігається у другому структурному підрозділі дитячої міської лікарні. Територіально саме цей структурний підрозділ розташований в оточенні промислових підприємств міста й автошляхів міста і області, що в більшості випадків спричиняє небезпечний екологічний стан цього району міста (забруднення атмосферного повітря) та провокує підвищений рівень захворюваність дитячого населення.

Інформаційні технології, а саме програмне забезпечення від компанії ESRI *ArcGIS Desktop*, використовується при дослідженні компонентів довкілля, результати дослідження процесів забруднення середовища, наслідків господарської діяльності чи існуючого стану окремих елементів навколишнього середовища. Спільне візуальне подання причинно-наслідкових характеристик довкілля дозволяє не тільки оцінити еколого-економічний збиток, що завдається населенню міста внаслідок господарсько-промислової діяльності. Даний підхід забезпечує інформативність у наданні рекомендацій щодо здійснення інженерно-технологічних та організаційних заходів під час вирішення окремої небезпечної ситуації на конкретній ділянці населеного пункту чи комплексного підходу до вирішення загально-екологічних проблем міста.

На сьогоднішній день продовжується опрацювання питань, спрямованих на дослідження озеленення й моделювання рекреаційних осередків і природно-заповідних зон в межах міста та області. Продовжуються наукові дослідження стосовно радіаційного забруднення промислової зони міста в межах хвостосховищ радіоактивних відходів, інших небезпечних відходів, що зберігаються в межах міста зі складанням відповідних шарів електронної карти та формуванням єдиної бази даних.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голіньком В.І.  
Надійшла до редакції 26.04.11*

УДК 504.064

© Ю.Ф. Коровин

## **РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ УРАНА**

У роботі розглянуті питання вирішення екологічних проблем і комплексного використання ураносодержащей сировини й утилізації відходів при виробництві урану.

В работе рассмотрены вопросы решения экологических проблем и комплексного использования ураносодержащего сырья и утилизации отходов при производстве урана.

In work questions of the decision of environmental problems and complex use ураносодержащего raw materials and recycling of a waste by uranium manufacture are considered.

Буквально через несколько дней после разрушения американскими ядерными бомбами японских городов Хиросимы и Нагасаки, показавшими, что Соединенные Штаты Америки владеют невиданной мощью - ядерной энергией и могут ей распоряжаться, как сочтут необходимым, при Государственном Комитете обороны СССР 20 августа 1945 г. был образован Специальный комитет, который возглавил руководитель МВД Берия Л.П.

В задачу этого комитета входила быстрее ликвидация монополии США в области ядерного оружия.

Строительство и эксплуатация новых предприятий: атомных реакторов, радиохимических заводов, обогатительных фабрик и гидрометаллургических заводов требовало соблюдения особой безопасности, что в этих условиях заставляло торопиться и пренебрегать экологическими и ресурсосберегающими проблемами.

Одним из первых заводов по переработке урановых руд был созданный в 1947 г. в г. Днепропетровске завод №906 1-го Главного управления при Совете Министров СССР (директор М.П. Аношкин с 1947 по 1976 г.), численностью в 673 человека. Выбор площадки был обусловлен наличием в городе азотно-тукового завода, крупнейшего в то время в Европе, который обеспечивал урановый завод химическими реагентами. В переработку поступали урановые руды,

поставляемые из Германии по репарациям после окончания войны. Первоначальная технология переработки уранового сырья была примитивная с множеством операций фильтрования, низким извлечением урана, завод в основном был укомплектован молодыми рабочими - выпускниками профтехучилищ, которым пришлось осваивать новые по тем временам технологии, иметь дело с радиоактивностью и выполнять установленные плановые задания, которые контролировались органами МВД.

К пуску завода не было подготовлено хвостохранилище, поэтому отработанными урановыми "хвостами" засыпались в имеющиеся на территории предприятия овраги и балки (с 1949г. по 1954г. ), а в дальнейшем, по мере увеличения масштабов переработки урановой руды, направлялись в построенное для этой цели на берегу Днепра хвостохранилище "Д" (с 1954 по 1968 г.). Первоначально переработка руд осуществлялась по двум технологиям: карбонатной и сернокислотной. К недостаткам этих технологий следует отнести ограниченную область применения, т.е. применение только к определенному типу руд, а также, относительно низкую степень извлечения урана из рудного сырья, наличие множества операций фильтраций и репульпаций, низкое извлечение урана, получение недостаточно качественных химических концентратов, тяжелые условия труда и контакт обслуживающего персонала с соединениями урана. Эти технологии имели значительные радиоактивные отходы и не предусматривали утилизацию затраченных химических реагентов.

В последующие годы Днепродзержинский урановый завод получил дальнейшее развитие. Были построены цехи по переработке урановых руд, одновременно начала внедряться технология, позволяющая решать вопросы экологии. Предпосылкой этому послужило то, что применение азотной кислоты позволило создать технологию извлечения урана с одновременной утилизацией азотнокислых солей (в отличие от существующей во всех странах сернокислотной технологии ). Так, при переработке Желтореченских руд было создано на отработанных пульпах производство натриевой селитры, обеспечившее потребности металлургов. При переработке железосодержащих урановых руд, особое внимание было уделено разработке технологии , где кроме основного продукта – хим. концентрата урана, извлекается железо в виде чугуна, алюминий образует алюмоаммиачные квасцы, аммиак и азотная кислота утилизируются с получением аммиачной селитры. В переработку руд Первомайского месторождения Кривбасса были вовлечены три основные предприятия города: Днепровский металлургический завод - осуществлял на специально отведенной для этой цели доменной печи №6 переплавку этой руды, а шлак, обогащенный ураном, направляли для извлечения урана на шлаковый завод (так назывался к этому времени завод №906). На заводе кроме урана извлекали алюминий в виде алюмоаммиачных квасцов, для чего был построен специальный цех. Оставшиеся нитратные щелока направляли на соседний азотно-туковый завод ДПО "Азот" для получения аммиачной селитры. Эта технология, разработанная отраслевыми проектными и исследовательскими институтами, была удостоена Сталинской премии. Такая технологическая схема приведена на рис.1.



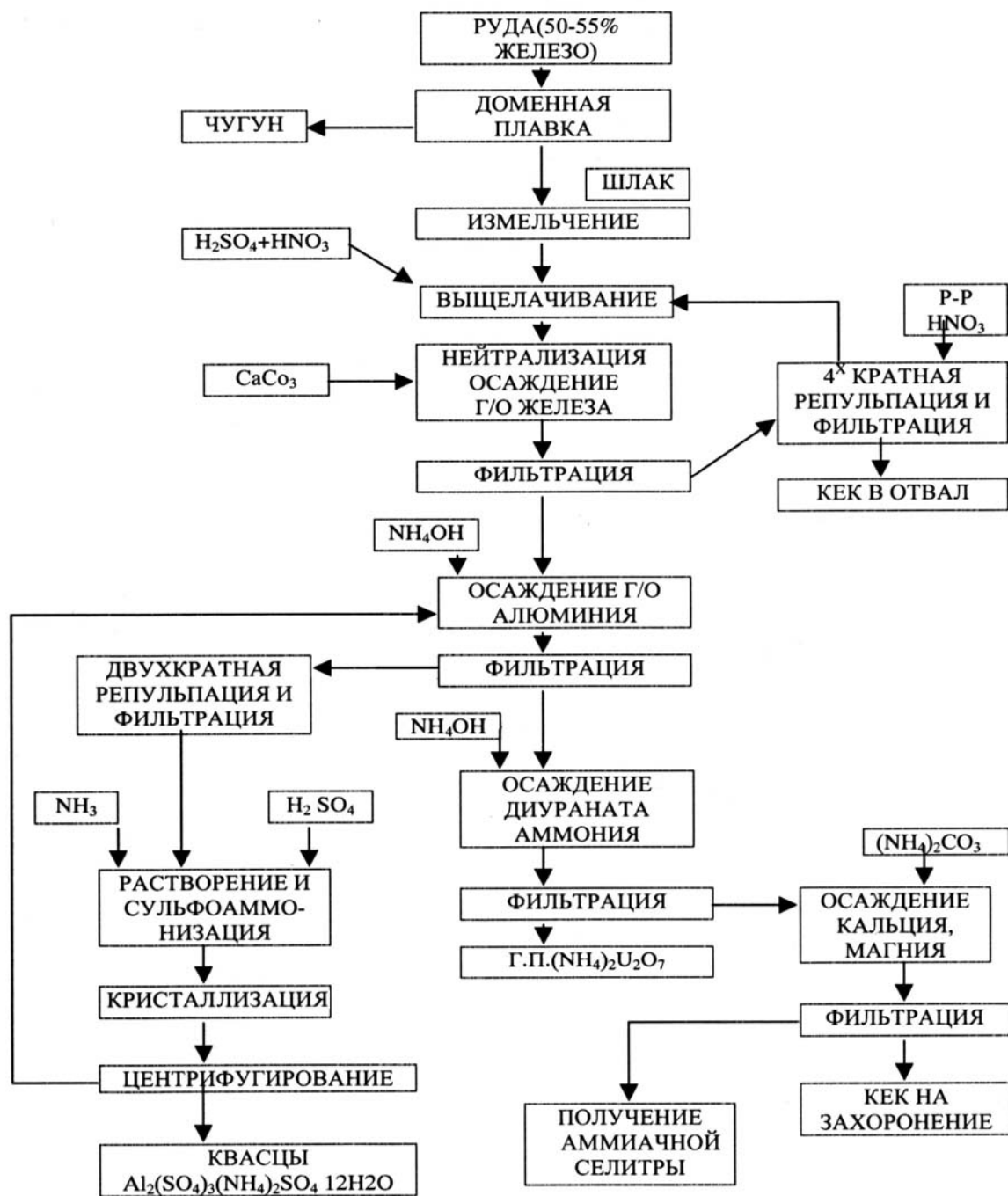


Рис.1. Технологическая схема извлечения урана с комплексным использованием сырья

Естественно, работа такого крупного предприятия было согласовано в соответствующих Министерствах и партийных органах города и области, которые имели на это право и доступ к секретной информации. Однако впоследствии выяснилась пагубность принятия этой технологии, поскольку происходило загрязнение радиоактивными элементами воздушного бассейна города выбросами доменной печи № 6. При производстве аммиачной селитры в процессе очистки нитратных щелоков образовывались радиоактивные осадки, которые несанкционированно были захоронены на территории города в районе улицы Лазо.

В связи с нерешённостью вопросов радиоактивного загрязнения окружающей среды в середине 60-х годов, по инициативе специалистов завода, была разработана и внедрена другая технология переработки железосодержащих урановых руд, предусматривавшая предварительно перед подачей в доменную печь, дезактивацию железного концентрата. Производство квасцов было переведено на глинозем, прекращена подача нитратных растворов на азотно-туковый завод. Такая технологическая схема приведена на рис.2.

Вопрос захоронения радиоактивных отходов Днепровского металлургического завода встал позднее при демонтаже доменной печи №6 в 1982г. Захоронение было решено путем создания могильника на базе хвостохранилища "С" в районе поселка Сухачевки. Что делать с радиоактивными отходами на ОАО "Азот" до сих пор неизвестно.

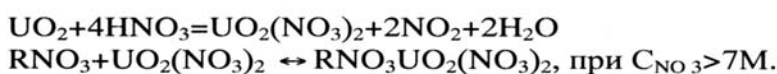
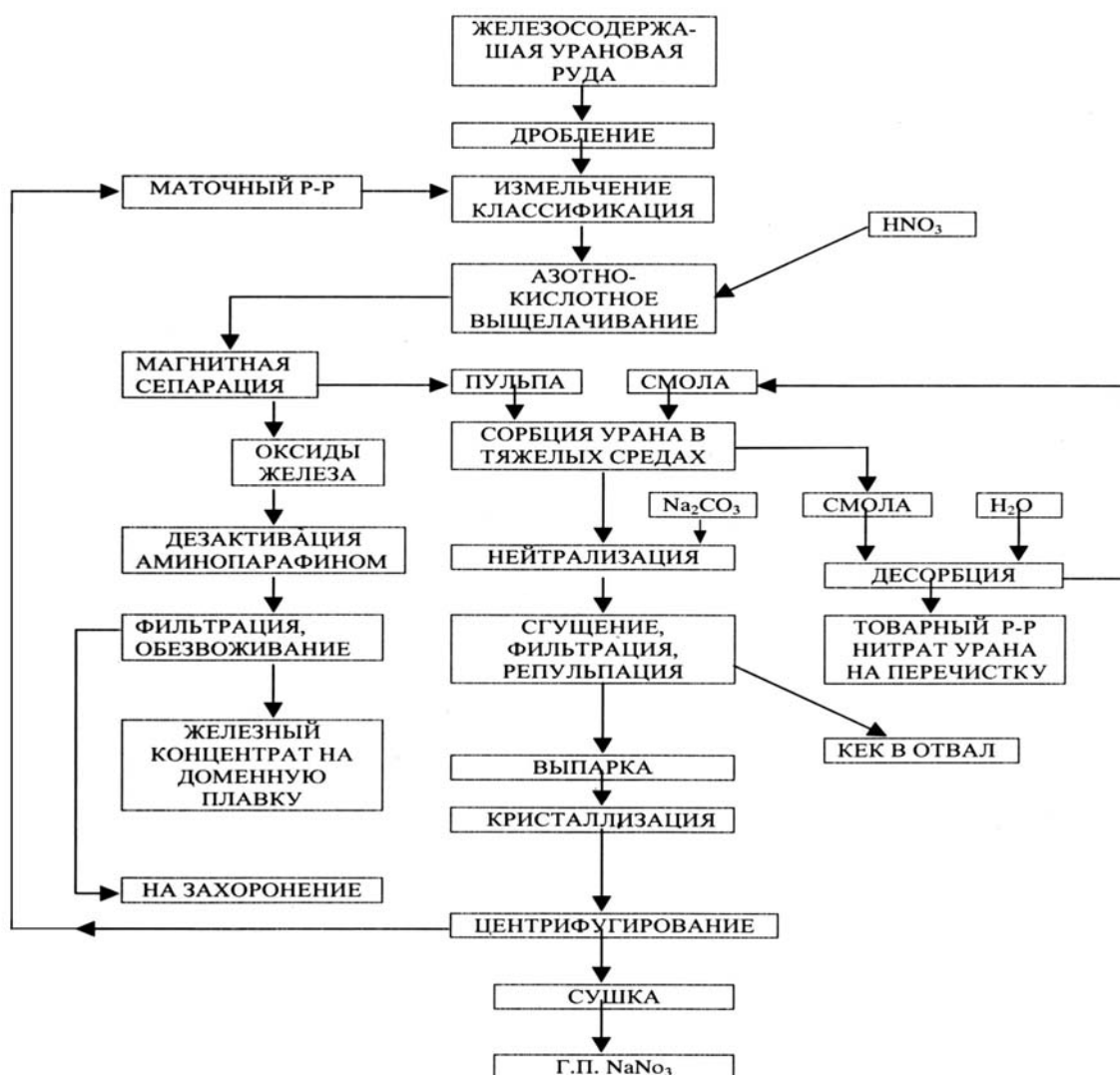


Рис.2. Технологическая схема извлечения урана с комплексным использованием сырья

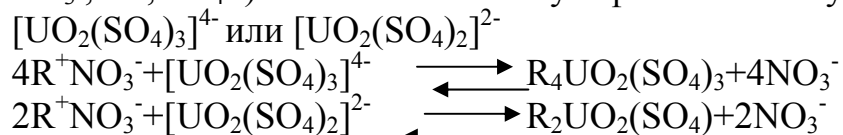
После того, когда были найдены на берегу Каспийского моря месторождения руды, содержащей кроме урана фосфор и редкоземельные элементы, предприятию было поручено разработать и создать промышленное производство по комплексной переработке этого вида сырья. Эта задача совместно с отраслевыми институтами специалистами завода была успешно решена и на Приднепровском химическом заводе (так стал называться шлаковый завод) возникло крупное промышленное производство редкоземельных элементов, и фосфорных удобрений, т.е. создана малоотходная технология с комплексным использованием этого сырья. По этой, технологии впоследствии было построено крупное промышленное производство на месторождении, и возник на берегу Каспийского моря в Казахстане город Шевченко.

Эта технология является классическим примером удачного решения комплексного использования сырья с извлечением урана, редкоземельных элементов, скандия, фосфора, утилизации затраченных химических реагентов,

Как видно из приведенных примеров, в начальный период развития урановой промышленности для получения соединений урана использовались традиционные классические методы, широко применяемые в химической технологии, в частности, в цветной металлургии, включающие операции фильтрации, репульпации и многочисленные операции осаждения и растворения, что нанесло окружающей среде значительный ущерб.

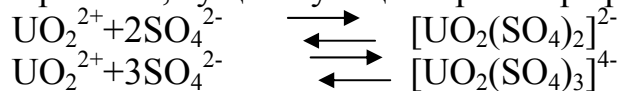
В настоящее время наиболее распространенной в мировой практике является технология извлечения урана из руд основанная на его извлечении из растворов и пульп сорбционным методом.

Метод основан на способности синтетических сильноосновных анионообменных смол избирательно обменивать в слабосернокислом растворе анионы ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) на комплексные сульфатные ионы уранила



где R – радикал органического полимера приобретающий в растворе положительный заряд в результате отщепления подвижных функциональных групп способных к обмену на анионы из раствора.

При этом, существующее в растворе равновесие сдвигается в сторону



образования сульфатных комплексов.

Процесс сорбции урана ионообменными смолами состоит из двух стадий: сорбция, во время которой смола поглощает уран из пульпы; десорбция – вытеснение поглощенного урана из смолы элюирующим раствором, одновременно происходит регенерация смолы. Обычно для этой цели применяют раствор азотной кислоты, поскольку следующая аффинажная операция – экстракция проводится из азотнокислых сред.

Сорбционная емкость анионита зависит от концентрации урана в исходной пульпе и содержания конкурирующих примесей. Обычно, она составляет (50/80) кг урана на тонну смолы.

Аппаратурно, процесс сорбции проводят в пачуках – аппаратах с воздушным перемешиванием. Для получения необходимого извлечения используют каскад пачуков (обычно 8/10 единиц), через которые непрерывно движется пульпа, навстречу которой в противотоке транспортируется аэрлифтами смола. Отделение смолы от пульпы производится на сеточных дренажах.

В пачуках поддерживается концентрация смолы (10-15) %. Время пребывания пульпы в пачуках 6-8 часов при температуре (50/60) °С, кислотность пульпы (5-10) г/л.

Часто проводят т.н. сорбционное выщелачивание, т.е. эту операцию проводят в присутствии смолы, что повышает степень вскрытия урановых минералов, при этом, во многих случаях улучшается кинетика выщелачивания, снижается расход реагентов и значительно повышается извлечение.

Поскольку иониты находятся в замкнутом цикле, они могут использоваться непрерывно в течение нескольких лет. Расход смолы, в основном за счет истирания, составляет (10-15)г/т руды и зависит от её минералогического состава, степени измельчения, эффективности вывода песковой фракции перед сорбцией.

Отработанная, сбросная пульпа после сорбции обычно содержит не более 5 мг/л растворимого урана, что обеспечивает высокое его извлечение на сорбционном переделе.

Задача элюирования или десорбции в полном вымывании урана из сорбента минимальным количеством регенерирующего раствора, для обеспечения максимального в нем содержания урана. Необходимо также обеспечить минимальное содержание урана в смоле после регенераций, перед поступлением её на сорбцию, т.к. от этого зависит, в соответствии с изотермой сорбции, получение сбросных содержаний урана.

Аппаратурно, наиболее эффективно проводить десорбцию в противотоке, используя колонны с непрерывной пульсирующей разгрузкой, в которой обеспечивается непрерывность процесса и плотная упаковка движущегося слоя ионита устраняющего застойные зоны. Данная конструкция позволяет получать выход товарного регенерата в пределах (0,6-0,8) объема на объем смолы. Отработанную пульпу после нейтрализации, обычно известковым молоком, отправляют на хвостохранилище. После отстаивания, раствор, т.н. дамбовую воду, возвращают в цикл измельчения.

По сравнению с осадительными методами, метод ионного обмена имеет существенные преимущества.

1. Устраняет трудоемкие и дорогостоящие операции фильтрации, сокращает число технологических операций.

2. Обеспечивает селективность и высокую степень извлечения урана.

3. Позволяет вовлекать в переработку разнообразные типы урановых руд и обеспечивает их крупномасштабную переработку.

4. Существенно улучшает условия труда и уменьшает контакт обслуживающего персонала с радиоактивными веществами.

Однако, в случае комплексных урановых руд, когда целесообразно извлекать из сырья ценные сопутствующие металлы и утилизировать затраченные химические реагенты, необходимо рассматривать варианты применения флокулянтов быстро осветляющих растворы и ускоряющих использование различного типа центробежных машин – центрифуг.

Полностью безотходных технологий в гидрометаллургии урана быть не может, поскольку его содержание в рудной массе находится на уровне десятых и сотых долей процента, попутное извлечение других ценных компонентов требует их очистки от радионуклидов, поэтому обязательным условием в производстве урана является наличие хвостохранилищ. Эти сооружения должны быть оборудованы надёжной противофильтрационной защитой, канавами перехвата паводковых вод, контрольными скважинами. Также, должно быть создано обратное водоснабжение для использования дамбовой отстоявшейся воды в урановом и, возможно, другом производстве. Всем этим требованиям отвечает сооружение – вторая секция хвостохранилища «Сухачёвское» введенная в эксплуатацию в период 1983 г.

### **Выводы**

1. Первоначальная переработка урановых руд осуществлялась по карбонатной и серноокислотной технологиям, что сопровождалось низким извлечением урана, тяжелыми условиями труда и контактом обслуживающего персонала с соединениями урана и не предусматривала утилизацию затраченных химических реагентов и применение экологических мероприятий.

2. Технологическая схема извлечения урана с комплексным использованием (рис. 2) позволила реализовать экологически приемлемые решения по комплексной переработке железосодержащих руд с извлечением урана и железа. Также были успешно решены задачи переработки фосфоросодержащего сырья с извлечением урана, редкоземельных элементов, скандия и фосфора.

3. Внедрение сорбционных методов извлечения урана из пульп позволило улучшить экономические показатели технологии извлечения, существенно улучшить условия труда и снизить экологические последствия уранового производства в г. Днепродзержинске.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Зберовським О.В.  
Надійшла до редакції 25.05.11*

УДК 621.876

© Д.Л. Колосов

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДЕФОРМУВАННЯ БОБІНИ НА РОЗПОДІЛ СИЛ РОЗТЯГУ ТРОСІВ В КАНАТІ СТУПІНЧАТОЇ КОНСТРУКЦІЇ**

Досліджено зміни напружено-деформованого стану каната, що відбуваються внаслідок відхилення форми твірної бобіни від прямої лінії. Доведено, що викривлення твірної бобіни внаслідок нерівномірного розподілу сил тиску ділянки каната з меншою кількістю тросів практично не впливає на напружений стан каната і його можна не враховувати в інженерній методиці розрахунку.

Исследованы изменения напряженно-деформированного состояния каната, вызванные отклонением формы образующей бобины от прямой линии. Доказано, что искривление образующей бобины вследствие неравномерного распределения сил давления участка каната с меньшим количеством тросов практически не влияет на напряженное состояние каната и его можно не учитывать в инженерной методике расчета.

The changes in the stress-strain state of rope, caused by deviation of the generator of the reel from a straight line, are examined. It is proved that the distortion of the reel generator due to the uneven distribution of the pressure of the rope with a smaller number of cables does not affect its stress state and can be ignored in the engineering method of calculation.

**Вступ.** Розробка підйомної машини для надвеликих глибин пов'язана із впровадженням канатів ступінчастої конструкції. В такому канаті кількість тросів за його довжиною ступінчасто змінюється – збільшується від кінцевого (корисного) вантажу до барабана підйомної машини. Аналогом ступінчастого каната є плоский гумотросовий канат, в якому поперечний переріз залишається незмінним по усій його довжині. На підйомній машині канат розташований вертикально і зусилля розтягнення змінюється за його довжиною – воно залежить від маси каната, розташованої нижче розглядуваного перерізу. Збільшення довжини каната веде до зростання його маси, що зменшує реальну вантажопідйомність машини. При значних довжинах маса каната істотно впливає на величину корисного навантаження. В канаті ступінчастої конструкції зміною конструктивних елементів та поперечного перерізу досягається можливість забезпечення рівномірності тягового каната за довжиною при зменшенні маси каната та збільшенні кінцевого навантаження та глибини підйому.

Застосування нових канатів на підйомних установках вимагає розв'язання багатьох актуальних науково-технічних задач. До таких задач відноситься і задача визначення впливу змінної ширини каната на його напружено-деформований стан (НДС) в бобіні, утвореній багатошаровим намотуванням.

**Стан питання.** Плоскі канати (стрічки) незмінної ширини використовуються понад 100 років в підйомно-транспортних машинах. В такій конструкції тиск верхнього шару практично рівномірно розподілений по ширині. Результати досліджень напружено-деформованого стану таких органів широко висвітлені в науковій літературі. Подальші дослідження необхідні для обґрунтування норм експлуатації канатів ступінчастої конструкції. В роботах [1-4] встановлені закономірності деформування твірної поверхні, по якій намотується ступінчастий канат. Представлена робота присвячена розгляданню змін НДС каната, що відбуваються внаслідок відхилення форми твірної бобіни від прямої лінії.

**Мета роботи** полягає у визначенні впливу викривлення твірної бобіни, зумовленого нерівномірним розподілом сил тиску ділянки каната з меншою кількістю тросів, на напружено-деформований стан ступінчастого каната.

**Постановка задачі та основний зміст роботи.** Під час багатошарового намотування на виконавчий орган підйомної машини каната ступінчастої конструкції, сходинка меншої ширини укладається на шари, утворені попередньою, більш широкою сходинкою. До того ж, при намотуванні ступінчастого каната в бобіну, укладаються шари кожної ступені на попередню ділянку каната, що містить на два більшу кількість тросів (рис. 1). Таке укладання призводить до нерівномірного розподілу тиску каната меншої ширини на попередні шари більшої ширини. Нерівномірний тиск призводить до зміни поверхні, утвореної канатом при багатошаровому намотуванні. В свою чергу, зміна форми тіла, з яким взаємодіє плоский тяговий орган, впливає на характер набігання каната.

Гумотросовий канат – композитна конструкція і визначення його НДС аналітичним шляхом практично неможливе. Відповідно неможливо розробити методику інженерного розрахунку на міцність такої складної системи, як багатошарове тіло, утворене намотуванням каната змінної ширини. Вказане зумовлює потребу визначення загальних характеристик НДС системи і на основі цих особливостей прийняти спрощену розрахункову схему. Далі, для такої розрахункової схеми віднайти аналітичний розв’язок, відповідно знайти вирази для визначення параметрів НДС каната.

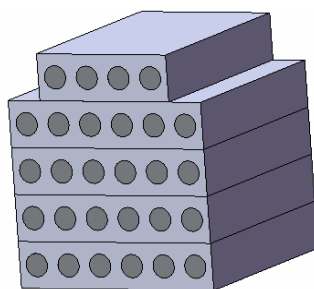


Рис. 1. Прийнята фізична модель укладання шарів каната в бобіні

Напружено-деформований стан будемо розглядати складеним із трьох станів. Перший стан – канат згинається за формою, що відповідає формі поверхні бобіни. При цьому всі перерізи плоскі до деформування, залишаються плоскими і після деформування. Оскільки ділянка, zdeformovana по поверхні бобіни, взаємодіє з ділянкою, на якій канат вважаємо плоским, то в разі зняття умовного обмеження на деформування границь, зусилля у тросах перерозподіляться і перерізи викривляться. При цьому всі зміни матимуть локальний характер внаслідок дії принципу Сен-Венана. Це деформування віднесемо до другого стану. Третім станом будемо вважати навантаження каната силами розтягу, рівномірно розподіленими по його ширині. Такий розтяг не призводить до додаткового викривлення перерізів каната. Відповідно, поздовжні навантаження, додані на третьому станові, будуть однаковими і їх легко врахувати.

Прийнявши  $P_1 = P_3 = 0$  (без урахування зовнішнього навантаження), рівняння, що описують переміщення та навантаження тросів запишемо у наступному вигляді

$$\begin{aligned} u_i^I &= [F_{y=it} - R_{sr}] \varphi; \\ P_i^I &= EF [F_{y=it} - R_{sr}] \frac{1}{R_{sr}}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $u_i^I$  – переміщення  $i$ -того троса на першому етапі деформування каната;  $P_i^I$  – зусилля розтягу  $i$ -того троса на першому етапі деформування каната;  $F_{y=it}$  – функція залежності радіуса бобіни від координати  $y$  (задана дискретними значеннями, як добуток номеру троса  $i$  та кроку їх укладання  $t$ ), спрямованої вздовж осі бобіни;  $R_{sr}$  – мінімальний радіус бобіни;  $\varphi$  – кут взаємодії каната та бобіни.

У ролі координати до першої складової входить змінна – кут  $\varphi$ . Враховуючи те, що

$$\varphi = \frac{x}{R_{sr}}, \quad (2)$$

переміщення та сили складають

$$u_i^I = \frac{(F_{y=it} - R_{sr})x}{R_{sr}}; \quad (3)$$

$$P_i^I = \frac{(F_{y=it} - R_{sr})EF}{R_{sr}},$$

де  $EF$  – жорсткість троса на розтяг.

Деформації та сили деформування тросів подамо залежностями

$$u_i^{II} = \left[ \sum_{n=1}^{\infty} (A_n e^{\beta_n x} + B_n e^{-\beta_n x}) \cos(\alpha_n(i-0,5)) \right], \quad (4)$$

$$P_i^{II} = \left\{ \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n (A_n e^{\beta_n x} - B_n e^{-\beta_n x}) \cos(\alpha_n(i-0,5)) \right] \right\} EF, \quad (5)$$

де  $A_n, B_n$ , – постійні інтегрування;  $\beta_n = \sqrt{2 \frac{Gh}{EF(t-d)} (1 - \cos \alpha_n)}$ ;  $G$  – модуль зсуву гуми;  $h$  – товщина каната;  $t$  – крок укладання тросів із заданим діаметром  $d$ ;  $\alpha_n$  – характеристичний показник, знайдений з розв'язку системи рівноваги тросів в канаті.

Сили та переміщення тросів в канаті на другій ділянці дорівнюють різниці між двома станами – першим та другим.

$$u_{2,i} = u_i^I - u_i^{II}, \quad (6)$$

$$P_{2,i} = P_i^I - P_i^{II}.$$

Початок вісі  $x$  розташуємо посередині бобіни, спрямуємо вздовж осі каната. Унаслідок симетрії деформування відносно початку вісі координат, приймемо переміщення в перерізі  $x = 0$  рівними нулеві. Указане дозволяє визначити переміщення та сили за допомогою гіперболічних функцій і залишити тільки одну невідому сталу ( $A_n$ )

$$u_{2,i} = \frac{(F_{y=it} - R_{sr})x}{R_{sr}} - \left[ \sum_{n=1}^{\infty} A_{2,n} sh(\beta_n x) \cos(\alpha_n(i-0,5)) \right], \quad (7)$$

$$P_{2,i} = \left\{ \frac{(F_{y=it} - R_{sr})}{R_{sr}} - \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \beta_n A_{2,n} ch(\beta_n x) \cos(\alpha_n(i-0,5)) \right] \right\} EF. \quad (8)$$

Сформулюємо граничні умови для однієї першої ділянки – коли

$$x \rightarrow \infty, \quad P_{1,i} = 0, \quad u_{1,i} = 0. \quad (9)$$

З граничних умов маємо



$$A_{1,n} = 0. \quad (10)$$

Оскільки друга ділянка взаємодіє з першою, то на межі їх з'єднання ( $x = L$ ) повинні виконуватись умови сумісності деформування, коли

$$x = L, \quad u_{2,i} = u_{1,i}, \quad P_{1,i} = P_{2,i}. \quad (11)$$

Розкладемо в ряд за косинусами функцію

$$\frac{(F_{y=it} - R_{sr})}{R_{sr}} = \left[ \sum_{n=1}^N a_n \cos(\kappa_n(i - 0,5)) \right], \quad (12)$$

де  $N$  – кількість тросів в канаті;  $a_n, \kappa_n$  – невідомі коефіцієнти функції.

Підставивши значення переміщень та зусиль в умови сумісності деформування, отримаємо систему алгебраїчних рівнянь для визначення решти сталих інтегрування

$$\left. \begin{aligned} a_n - \beta_n A_{2,n} ch(\beta_n L) &= -\beta_n B_{1,n} e^{-\beta_n L} \\ a_n L - A_{2,n} sh(\beta_n L) &= B_{1,n} e^{-\beta_n L} \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Після розв'язання систем рівнянь (13) маємо

$$\begin{aligned} A_{2,n} &= \frac{a_n \left( \frac{1}{\beta_n} + L \right)}{[sh(\beta_n L) + ch(\beta_n L)]}, \\ B_{1,n} &= [a_n L - A_{2,n} sh(\beta_n L)] e^{\beta_n L}. \end{aligned} \quad (14)$$

З використанням отриманих результатів, розподіл сил по ширині каната, зумовлений викривленнями твірної від дії сил стискання, наведено на рис. 2.

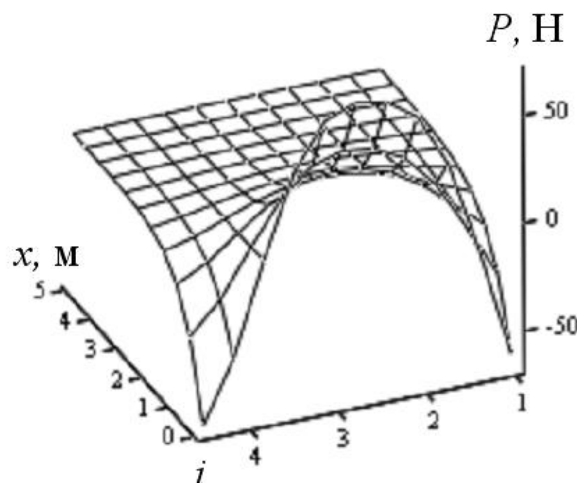


Рис. 2. Розподіл додаткових сил розтягу тросів, зумовлених формою (викривленням твірної) бобіни

Графік показує, що викривлення твірної бобіни призводить до перерозподілу сил поміж тросами. Найбільш нерівномірно сили розподіляються поміж троса-

ми в перерізі набігання каната на бобіну. Екстремальні значення сил не перевищують 50 Н. Діаметр тягових елементів (тросів) каната типа ГТК-3150 становить 8,25 мм. Розривне зусилля такого троса близько 50 кН. Таким чином екстремальні зміни навантажень на троси значно менші за зусилля руйнування троса. Тому можна зробити **висновок**, що викривлення твірної бобіни внаслідок нерівномірного розподілу сил тиску ділянки каната з меншою кількістю тросів практично не впливає на напружений стан каната і його можна не враховувати в інженерній методиці розрахунку.

#### Список літератури

1. Колосов Д.Л. Скінченно-елементне моделювання напружено-деформованого стану гумотросового ступінчастого каната в бобінному органі намотці // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ. – 2010. – №3. – С. 86-90.
2. Колосов Д.Л. Дослідження розподілу напружень в плоскому гумотросовому канаті ступінчастої конструкції при його багат шаровому намотуванні // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2010. – №35. – Т.1. – С. 182-188.
3. Блохін С.Є., Колосов Д.Л., Танцура Г.І. Визначення напружено-деформованого стану гумотросового каната змінного перерізу в тілі намотування багат шарової конструкції // Підйомно-транспортна техніка. – Дніпропетровськ. – 2010. – №4. – С. 15-22.
4. Колосов Д.Л., Білоус О.І. Стійкість ступінчастого каната на барабані машини підйому підводного робота // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ. – 2010. – №35. – Т.2. – С. 137-142.

*Рекомендовано до публікації Самусею В.І.  
Надійшла до редакції 20.06.11*

УДК 622.831.322:532.528

© В.В. Зберовский, А.В. Пазынич,  
Ю.Е. Поляков, А.А. Потапенко, А.А. Ангеловский

### **МОДЕЛЬ ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПРИ НАГНЕТАНИИ ЖИДКОСТИ**

Предложена математическая модель расчета предельного состояния угольного пласта при нагнетании жидкости. Критерием разрушения пласта принято значение давления гидростатического. Для проведения инженерных расчетов используется программа Matchcad 14 и разработанная в ней математическая модель.

Запропонована математична модель розрахунку граничного стану вугільного пласта при нагнітанні рідини. Критерієм руйнування пласта прийнято значення тиску гідровіджимання. Для проведення інженерних розрахунків використовується програма Matchcad 14 та розроблена у ній математична модель.

The mathematical model of calculation of the maximum state of coal layer at festering of liquid is offered. By the criterion of destruction the value of pressure of hydrowringing is accepted. For conducting of engineering calculations the Matchcad 14 software and mathematical model of calculation developed in her is used.

Решение задачи предельного состояния краевой части угольного пласта в условиях больших глубин невозможно без учета физико-механических свойств напряженно-деформированного массива горных пород. Также необходимо учитывать, что, при увеличении нагрузки до предельных значений, хрупкому разрушению угля предшествуют его пластические деформации. Модель математического описания этого процесса представляет собой систему уравнений со многими неизвестными.

Еще более сложной является задача моделирования предельного состояния угольного пласта в его краевой части при нагнетании жидкости с целью предотвращения внезапных выбросов угля и газа. Математическая модель дополняется новыми уравнениями с гидравлическими параметрами статического, гидродинамического или гидроимпульсного режимов воздействия. При описании частных задач [1, 2, 3] решение сводится к одному уравнению. Как показала практика ведения горных работ, результаты расчетов по этим моделям не всегда соответствуют состоянию напряженно-деформированного массива горных пород в условиях больших глубин.

Исходя из изложенного целью работы является разработка модели и решение задачи предельного состояния краевой части угольного пласта при проведении противовыбросных мероприятий, основанных на нагнетании жидкости.

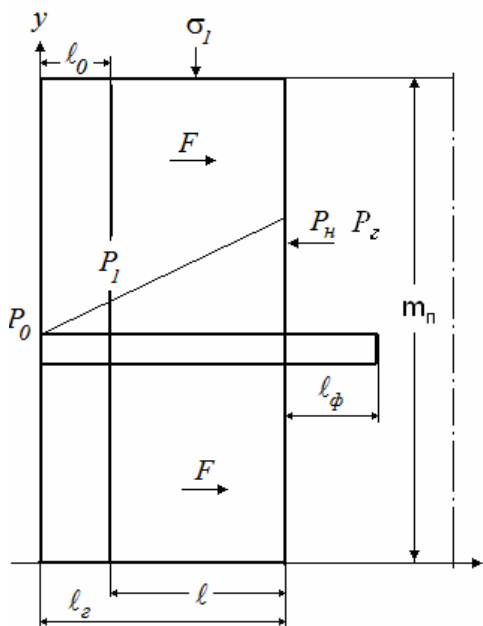
В основу решения положены требования «Правил ...» [4], результаты исследований ученых МакНИИ [1, 2], ИГД им. А.А. Скочинского [3] и ИГТМ НАНУ [5, 6].

Для решения задачи граничного состояния углепородного массива была проведена сравнительная оценка экспериментальных и аналитических исследований параметров гидроотжима, гидрорыхления и гидроимпульсного воздействия на угольные пласты в забоях подготовительных выработок. Принято, что критерием разрушения угольного пласта в его краевой части является давление гидроотжима, а основным параметром – константой, характеризующей механические свойства горных пород, является сопротивляемость их образца правильной формы одноосному раздавливанию. Аналитический метод расчёта предела прочности горных пород с учетом контактных напряжений уже был рассмотрен в работе [7].

В данной работе на конкретном примере рассмотрено решение поставленной задачи в виде инженерного расчета величины давления гидроотжима для условий выбросоопасного пласта  $i_3^I$  горизонта 915 м СП «Шахтоуправление «Суходольское-Восточное» ПАО «Краснодонуголь».

На рисунке 1 приведена физическая модель краевой части пласта, которая позволяет учитывать физико-механические свойства угля, силы горного давления и параметры гидравлического воздействия при проведении противовыбросных мероприятий.

«Правилами ...» [4] регламентируется расчет параметров гидроотжима и гидрорыхления выбросоопасных угольных пластов из условия давления гидро-разрыва.



### Расчетные параметры нагнетания

- $\sigma_l$  – силы горного давления, МПа;
- $m_n$  – мощность пласта, м;
- $P_n$  – давление нагнетания жидкости, МПа;
- $F$  – силы трения, МПа;
- $P_0$  – давление жидкости на поверхности, МПа;
- $P_1$  – давление жидкости в кромке пласта, МПа;
- $P_z$  – давление газа в пласте, МПа;
- $l_z$  – глубина герметизации шпура, м;
- $l_0$  – разрушенная часть кромки пласта, м;
- $l_\phi$  – фильтрационная камера, м;
- $l$  – зона сопротивления пласта, м;
- $\rho$  – угол внутреннего трения, град;
- $k$  – сопротивление сдвигу (сцепление).

Рис. 1. Схема расчета давления нагнетания жидкости в краевой части пласта

В соответствии с принятой схемой расчета (Рис.1) и результатами исследований МакНИИ [1, 2] проявление гидроотжима краевой части пласта при гидрорыхлении теоретически возможно при давлении нагнетания жидкости

$$P \geq \frac{2f\gamma H}{m_n} l_z \quad (1)$$

По модели состояния краевой части пласта рассмотренной в работе [3], давление гидроотжима определяется по выражению

$$P \geq kv\xi \left( e^{\varphi l} - 1 \right) - \frac{\psi \chi \eta \left( e^{il} - e^{\varphi l} \right) Q_n}{\pi m_n \left( l_z - l + 0.5l \right) \frac{K'}{e} (i - \varphi)}, \quad (2)$$

где  $v = 2 \cos \rho / (1 - \sin \rho)$ ;  $\xi = (1 - \sin \rho) / (1 + \sin \rho)$  – коэффициент бокового распора;  $\varphi = 2 \operatorname{tg} \rho (d - m\xi) / (dm\xi)$ ;  $Q_n$  – расход жидкости, нагнетаемой в пласт, м<sup>3</sup>/с

При гидроимпульсном рыхлении, в соответствии с [7] вероятность проявления гидроотжима может возникнуть при давлении жидкости, создаваемым устройством гидроимпульсного воздействия

$$P \geq \int_0^{m_n} \left( \frac{2 \left( k + \mu \gamma H \left( 1 + \frac{fl_z}{m_n} \right) \right)}{\cos \rho} \left( \sin \rho - \sqrt{1 - b^2(y)} \right) + \gamma H \left( 1 + \frac{fl_z}{m_n} \right) \right) dy - P_z$$

$$b(y) = \frac{f \gamma H \left(1 + \frac{f l_z}{m_n}\right) \left(1 - \frac{2y}{m_n}\right)}{k + \mu \gamma H \left(1 + \frac{f l_z}{m_n}\right)}. \quad (3)$$

Отличием предложенного решения математической модели (3) является то, что в расчете давления нагнетания жидкости для конкретных горно-геологических условий учитываются как физико-механические свойства угольного пласта, так и напряженно-деформированное состояние углепородного массива.

Учитывая, что интегральное выражение (3) для проведения инженерных расчетов представляют собой сложное математическое решение, в программном обеспечении Matchcad 14 разработан алгоритм расчета составляющих параметров модели. Расчет давления гидроотжима, как критерия граничного состояния краевой части пласта, выполнен по трём вариантам:

- по нормативной методике гидроотжима и/или гидрорыхления угольных пластов [4];
- по методике высоконапорного нагнетания [3];
- по предложенной модели гидроимпульсного воздействия (рис.1).

В расчете учтены следующие параметры и показатели пласта  $i_3^1$  гор. 915м, залегающего в условиях СП «Шахтоуправление «Суходольское-Восточное» ПАО «Краснодонуголь»: сопротивление сдвигу (сцепление)  $k=10 \text{ кгс/см}^2$ ; коэффициент внутреннего трения  $\mu=tg\rho$ ; угол внутреннего трения  $\rho=26,57^\circ$ ; удельный вес горных пород  $\gamma=2,65 \text{ т/м}^3$ ; глубина залегания  $H=915 \text{ м}$ ; коэффициент трения горных пород в массиве  $f=0,5$ ; мощность пласта  $m=1,75 \text{ м}$ ; ширина выработки  $b=5,1 \text{ м}$ ; глубина герметизации  $l_z=2,5 \dots 5,5 \text{ м}$ ; глубина скважин для нагнетания жидкости от 6,0 м до 8,0 м.

При расчете принято, что гидроотжим происходит при  $P_l=0$  в условии равновесия сил  $(P_n - P_l) m = 2f \gamma H (l_z - l_0)$ .

По результатам выполненных расчетов установлены зависимости давления гидроотжима от глубины герметизации шпура при высоконапорном нагнетании жидкости по всем рассмотренным вариантам.

При гидроимпульсном воздействии эмпириоаналитическое уравнение зависимости давления гидроотжима от глубины герметизации при достоверности аппроксимации  $R_2 = 0,9462$  (Рис.2) имеет следующий вид

$$P = 4,123 l_z + 11,478. \quad (4)$$

Учитывая, что до настоящего времени исследования вероятности проявления гидроотжима при гидрорыхлении угольных пластов не производились, для анализа и наглядности полученных результатов расчета, совместим полученные графические зависимости (рис. 3).

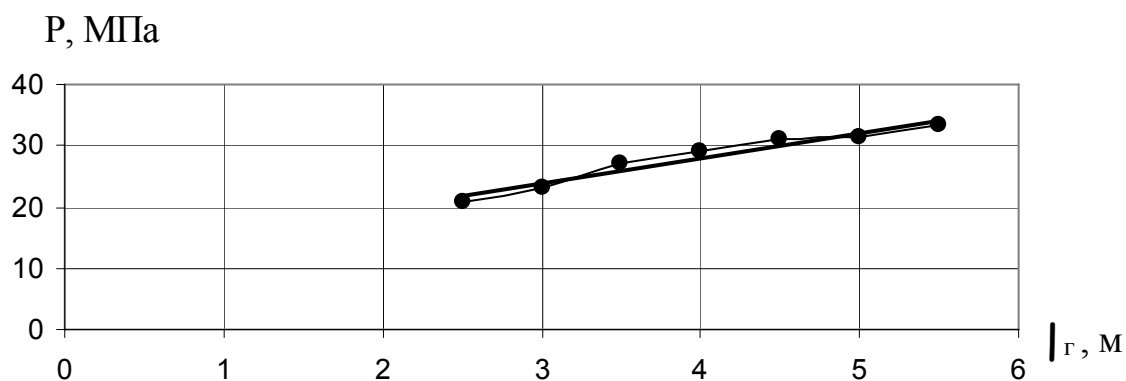
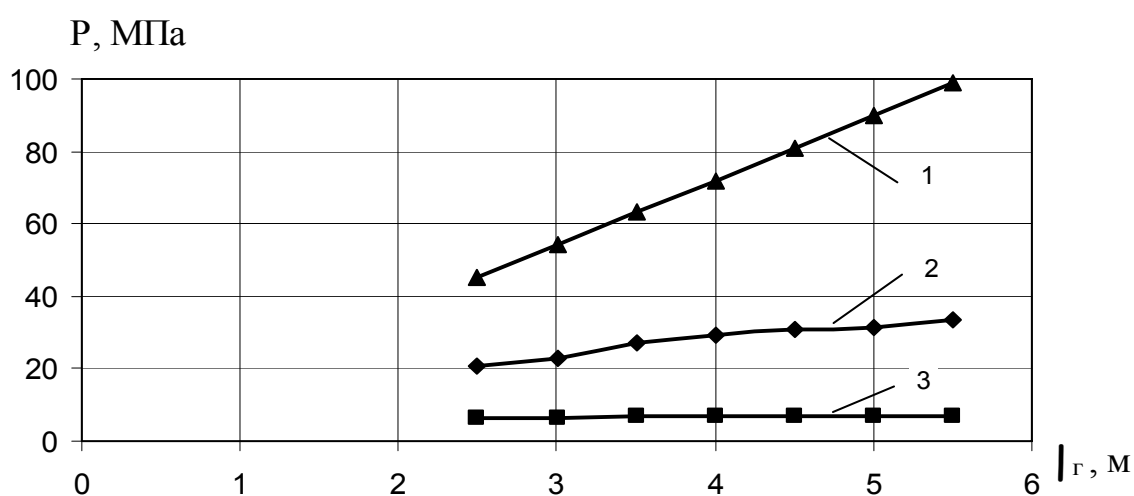


Рис. 2. Зависимость граничного давления нагнетания жидкости от глубины герметизации скважин при гидроимпульсном воздействии



- 1 – зависимость при расчете давления гидроотжима по «Правилам ...»;
- 2 – зависимость при расчете гидроимпульсного воздействия;
- 3 – зависимость при расчете высоконапорного нагнетания.

Рис. 3. Зависимости давления гидроотжима от глубины герметизации скважин при нагнетании жидкости

Анализ установленных зависимостей позволяет отметить, что, не смотря на достигнутые результаты исследований и принятые нормативные методики расчета параметров гидроотжима и гидрорыхления выбросоопасных пластов, полученные результаты расчета для глубин более 900 м (кривая 1, рис. 3) не соответствуют горно-геологическим условиям. Применение модели и методики расчета давления высоконапорного нагнетания жидкости [3] для условий больших глубин шахт Донецкого бассейна (кривая 3, рис. 3), также требуют корректировки и дополнительных исследований. Расчет давления гидроотжима по модели (3) и установленная зависимость давления нагнетания от глубины герметизации при гидроимпульсном воздействии (кривая 2, рис. 3) наиболее точно подтверждается экспериментальными данными. Это позволяет использовать эмпирическую зависимость (4) при расчетах давления гидроотжима краевой части пласта при гидрорыхлении угольных пластов.

Основываясь на многочисленных результатах контрольных наблюдений при проведении профилактических мероприятий по предотвращению газодинамических явлений на шахтах Донецкого бассейна можно сформулировать следующие выводы.

Известно, что при проведении работ по гидроотжиму или гидрорыхлению угольных пластов на глубинах более 800 м с герметизацией шпуров или скважин более 2,5 м гидроотжим краевой части пласта наблюдается при давлении нагнетания более 20,0 МПа. Здесь необходимо отметить, что исследования параметров гидроотжима краевой части при гидрорыхлении выбросоопасных угольных пластов на больших глубинах не производились.

При проведении горно-экспериментальных работ по гидроимпульсному воздействию в условиях шахт ПАО «Краснодонуголь» через скважины длиной от 6,0 м до 8,0 м установлено, что признаки гидроразрыва пласта проявляются при давлении жидкости более 23,0 МПа, однако признаков проявления гидроотжима при этом зафиксировано не было.

Горно-экспериментальными исследованиями подтверждено, что параметры гидроимпульсного воздействия обеспечивают условие равновесия сил в краевой части пласта при его гидрорыхлении. Это позволяет утверждать, что предложенная модель предельного состояния угольного пласта соответствует условиям напряженно-деформированной краевой части углепородного массива. А установленная эмпириоаналитическая зависимость  $P = 4,123l_2 + 11,478$  может быть использована в инженерных расчетах давления высоконапорного нагнетания жидкости при проведении профилактических мероприятий по предотвращению газодинамических явлений.

#### Список литературы

1. Бобров И.В. Применение гидроотжима призабойной зоны угольного пласта как способа борьбы с внезапными выбросами угля и газа / Вопросы безопасности в угольных шахтах: труды МакНИИ // И.В. Бобров, В.А. Шатилов; отв. ред. В.Л. Божко. - М.: «Недра», 1965. - том XVII. - С. 164-181.
2. Шатилов В.А. Определение усилий, необходимых для выдвигания призабойной зоны угольного пласта при гидроотжиме / Борьба с выбросами угля и газа, подземными пожарами, безопасность взрывных работ: сб. науч. статей // В.А. Шатилов, А.С. Яровой. - М.: «Недра», 1969. - С.14-17.
3. Теоретические основы гидроотжима и гидрорыхления на угольных шахтах / А.А. Борисенко. - М.: «Наука», 1986. - 114 с.
4. Правила ведения горных работ на пластах склонных к газодинамическим явлениям. - К.: Минуглепром Украины, 2005. - 224 с.
5. Васильев Л.М. Развитие трещин в угольном массиве при импульсном нагнетании в него жидкости / Механика и разрушение горных пород : сб. науч. трудов. - К.: Наук. думка 1993. - С. 60-65.
6. Васильев Л.М. Механизм формирования горизонтальных нормальных напряжений в массивах горных пород // Горный информационно-аналитический бюллетень МГГУ. - М.: Издательство МГГУ, 2008. - С. 190-195.
7. О правомочности применения закона о линейной связи между контактными напряжениями для расчета предела прочности горных пород / [Л.М. Васильев, К.В. Цепков, А.В. Пазынич и др.] // Науковий вісник НГУ. - № 3. - 2008. - С. 3-6.

*Рекомендовано до публікації Бойком В.О.  
Надійшла до редакції 20.05.11*

## ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГОНОСІЇВ У ВОДОНОСНИХ ПЛАСТАХ ЗАХІДНОГО ДОНБАСУ

Проведена технико-экономическая оценка эффективности хранения природного газа и теплых поверхностных вод в коллекторах Западного Донбасса для покрытия колебаний газопотребления на Днепропетровщине. В результате выполненных расчетов определены капиталовложения, чистая дисконтная стоимость и коэффициент прибыльности нового геотермального модуля.

Проведена техніко-економічна оцінка ефективності зберігання природного газу і теплих поверхневих вод в колекторах Західного Донбасу для покриття коливань газоспоживання на Дніпропетровщині. В результаті виконаних розрахунків визначені капіталовкладення, чиста дисконтна вартість і коефіцієнт прибутковості нового геотермального модуля.

The technical-economic estimation of efficiency of storage of natural gas and warm surface-water is conducted in the collectors of Western Donbas for coverage of vibrations gasconsumptions on Dni-propetrovs'k Oblast. As a result of the executed calculations capital investments, net discount cost and margin of profit of the new geothermal module, are certain.

**Вступ.** Сезонна нерівномірність споживання та обмеженість запасів газу в Україні призводять до необхідності пошуку альтернативних та резервних ємностей для зберігання енергоносіїв. Підприємство "Укртрансгаз" для покриття коливань газоспоживання використовує 12 підземних сховищ газу (ПСГ), активний об'єм яких сягає 31 млрд. м<sup>3</sup> (табл. 1). При цьому на долю Пролетарського сховища Магдалинівського району, що здійснює постачання до таких потужних індустриальних центрів, як Дніпропетровськ, Кривий ріг і Запоріжжя, припадає всього 5% загальних запасів (близько 1,5 млрд. м<sup>3</sup>). Майже 70% державного резерву природного газу зосереджено в західному комплексі підземних сховищ, що забезпечує надійність транзиту природного газу через територію країни і сезонне регулювання нерівномірності транзитного потоку. Ці сховища розташовані у районі ділянок магістральних газопроводів "Союз", "Прогрес" та "Уренгой – Помари – Ужгород", транспортування газу з яких на Дніпропетровщину економічно нерентабельне.

Недостатній об'єм власних і неможливість отримання ресурсу інших сховищ стало причиною встановлення Міністерством палива та енергетики ліміту для Дніпропетровської області у розмірі 27,8 млн. м<sup>3</sup> газу на добу в періоди пікового попиту (січень-лютий). Це зумовлює п'ятдесятивідсоткове скорочення споживання газу промисловими підприємствами (ВАТ "Дніпровський металургійний комбінат ім. Дзержинського", ВАТ "ДніпроАЗОТ", ВАТ "ДМЗ ім. Петровського", ВАТ "Кривий Ріг Цемент"). Діють також обмеження на газоспоживання понад 4,5 тис. бюджетних установ і планове відключення газоспоживання деяких організацій в області.

Для запобігання цієї ситуації у Дніпропетровщині було запропоновано підприємствам регіону перейти на альтернативні види палива і використовувати газ із власних резервів. Проте створення локальних наземних резервуарів і перехід



підприємств на інші види енергоносіїв вимагає в 7-10 разів більше капітальних вкладень, ніж питомі витрати на будівництво регіонального сховища енергії в придатних для цього геологічних структурах. Створення такого сховища поблизу потужних споживачів і сформованої газотранспортної системи дозволить повністю врегулювати проблему несинхронного споживання газу в регіоні.

Таблиця 1

Параметри підземних сховищ газу України

Комплекс підземного зберігання газу	ПСГ	Активний об'єм, млрд. м <sup>3</sup>
Південноукраїнський	Пролетарське	1,4
	Кегичевське	0,6
Київський	Солохівське	1,7
	Олишівське	1,6
	Червонопартізанське	1,7
Західноукраїнський	Богородочанське	2,5
	Угерське	1,5
	Більче-Волицьке	14,9
	Дашавське	1,4
	Опарське	1,2
Донецький	Вергунське	0,7
	Глебовське	1,8

Закордонний науково-практичний досвід показує [1], що одним з перспективних способів забезпечення надійної подачі енергії споживачам є використання водоносних пластів як сховищ для її акумуляції. При цьому як тепловий носій може бути використаний або природний газ, споживання якого влітку різко знижується, або поверхневі води, температура яких у цей період досягає +25 °С. Крім того, ресурс затоплених шахт дозволяє штучно підвищити запаси енергії шляхом підземного спалювання вугілля або газифікації. Економічна ефективність таких систем зростає зі збільшенням їхнього корисного об'єму, значення якого залежить від фільтраційно-ємнісних властивостей колекторів. Тому оптимізація роботи сховищ досягається на основі геологічних та гідрогеологічних чинників, шляхом оцінки енергетичних ресурсів відповідно до ємності колектора. Отже, обґрунтування техніко-економічних показників промислової системи використання ємнісного потенціалу водоносних комплексів як альтернативних сховищ енергії в промислових регіонах Дніпропетровщині є актуальним.

**Аналіз ефективності існуючих способів зберігання газу.** Згідно [2] дослідження, пов'язані з економічною ефективністю створення й експлуатацією підземних газосховищ, рекомендується проводити за такою послідовністю. На першому етапі визначається економічна ефективність створення сховища шляхом порівняння з іншими альтернативними варіантами, що дозволяють створити резерви газу. Крім того, на цьому етапі виконується розрахунок питомих капітальних вкладень на обладнання сховищ у різних умовах: у відпрацьованих родовищах, водоносних горизонтах та соляних куполах.

На другому етапі визначається ефективність фінансово-господарської експлуатації сховища протягом певного періоду часу, а також оцінка економічного ризику за обраним варіантом.

Додаткові та резервні ємності газу можуть бути створені також у системі «газове родовище – газопровід» і на станціях зрідження природних газів. Аналіз (рис. 1) [1] свідчить, що менш капіталомісткими об'єктами резервів газу є пористі середовища або підземні водоносні горизонти.

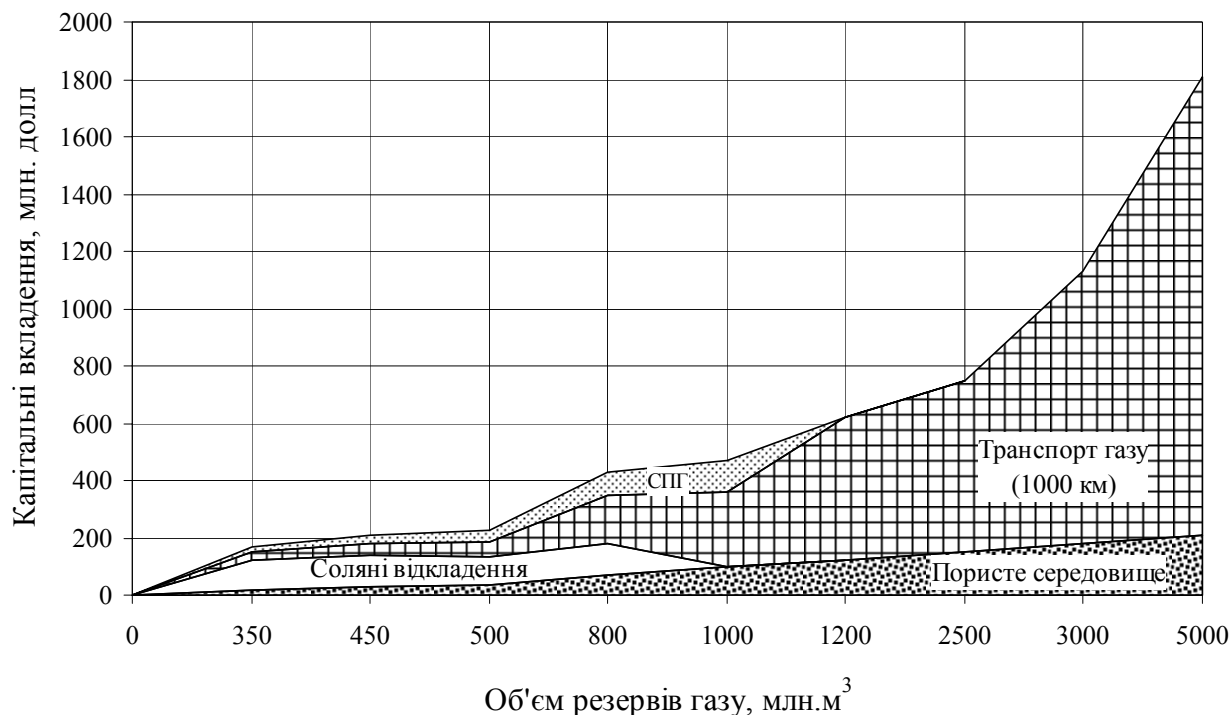


Рис. 1. Співвідношення капітальних вкладень в створення резервів газу

Більшість функцій газосховища може виконати газотранспортна система, але це вимагає у 7-10 раз більше капітальних вкладень. Середні питомі витрати на приріст 1000 м<sup>3</sup> активного об'єму природного газу у підземних сховищах оцінюються в 50 доларів США, тоді як для обладнання наземних резервуарів еквівалентного об'єму потрібно 350-500 доларів.

Аналіз результатів експлуатації діючих газосховищ показує, що частка витрат, яка припадає на великі об'єкти, становить 40-45% від загальних річних витрат на утримання всіх підземних сховищ, а їх активна ємність сягає 70%. Це свідчить про збільшення економічної ефективності зі збільшенням об'єму сховища. У зв'язку з цим, в інвестиційному проекті мають бути заплановані дослідження щодо шляхів підвищення ємнісних ресурсів колекторів, наприклад, шляхом керування тиском у газосховищі та рухом газо-водяного контакту.

Економічна ефективність підземного зберігання газу визначається як збільшення об'єму його реалізації. Методика визначення ефективності включає розрахунки витратної частини на основі встановлення капітальних вкладень і експлуатаційних витрат та прибуткової частини на основі отриманого доходу від збері-

гання і реалізації газу. При визначенні капітальних вкладень можна скористатися укрупненими нормативами ДП "Укртрансгаз" [3], наведеними у табл. 2.

Таблиця 2

Відносний розподіл витрат при будівництві підземних сховищ газу

Стаття витрат	Водоносний пласт	Соляні каверни	Виснажені родовища
Буферний газ	30	20	35
Наземне устаткування	25	30	35
Дослідницькі роботи	15	5	5
Будівництво свердловин	30	45	25

Аналіз даних показує, що велика частина витрат при будівництві підземних сховищ припадає на буферний газ і будівництво свердловин. Проте, як показав досвід експлуатації сховищ, буферний газ може бути частково вилучений. Тому його закачування до сховищ з точки зору спеціалістів "Нафтогаз України" є, по суті, перенесенням газу з одного складу, більш віддаленого від споживача, до іншого складу. У зв'язку з цим рівень витрат на буферний газ визначається тільки вартістю транспортування по газотранспортній системі. За існуючої динаміки цін на газ (табл. 3) акумуляція його великих об'ємів є дуже рентабельною.

Таблиця 3

Динаміка зміни ціни на газ (за 1000 м<sup>3</sup>) в Україні в 2006-2010 рр.

Показник	2006	2007	2008	2009	2010
Ціна імпортного газу на кордоні з Росією, долл. США	95	130	179,5	360 <sup>1</sup> 270,95 <sup>2</sup> 198,34 <sup>3</sup> 208 <sup>4</sup>	305,2

1,2,3,4 - відповідно ціни 1,2,3 і 4-го кварталів року

Витрати, пов'язані з бурінням і експлуатацією свердловин, пропорційні їх глибині. Наведені на рис. 1 капітальні вкладення є типовими для сховищ, розміщуваних на глибинах близько 1000 м, тоді як колектори Західного Донбасу характеризуються глибиною залягання до 500 м. Таким чином, створення сховищ у цих гірничо-геологічних умовах дозволить скоротити витрати на формування системи експлуатаційних свердловин у порівнянні з існуючими.

У сфері ціноутворення на послуги підземного зберігання газу в Україні накопичилися такі проблеми: економічно обґрунтована вартісна оцінка послуг підземних сховищ фактично відсутня, що не стимулює їх створення і підвищення надійності газопостачання; діючі тарифи на послуги зі зберігання газу не відображують технологічні процеси в сховищах і не забезпечують підприємству стабільне покриття понесених витрат і отримання прибутку впродовж року.

В умовах розвинутого газового ринку в Західній Європі, де ціна для житлового-комунального сектора з урахуванням сезонної нерівномірності споживання у

2-3 рази вище за ціну, по якій фірми закупають газ у зарубіжних експортерів, створення і експлуатація сховищ є рентабельними. У багатьох країнах також прийняті два тарифи: коли споживач платить не лише за об'єм отриманого газу, але і за заявлену потужність, яка визначається максимальним добовим або годинним споживанням. У вітчизняній практиці цього поки немає, у зв'язку з чим економічний ефект від збільшення подачі газу (створення сховища) можливо врахувати лише частково.

У періоди пікового споживання можна значно збільшити об'єм реалізації газу, проте ефект від цього заходу за умов держрегулювання тарифів на газ не буде істотним. Економічна ефективність створення нового підземного газосховища в газотранспортній системі України повинна визначатися витратами на розвиток самої системи і окремих її елементів.

**Оцінювання параметрів підземного зберігання газу** Оптимальне розміщення сховища в системі газопостачання в масштабі країни визначається шляхом імітаційного моделювання з використанням методів лінійного програмування. Задачею оптимізації є забезпечення максимальної добової і річної потреби в газі окремого регіону з мінімальними витратами. Визначення витрат на створення сховища залежить від двох параметрів – активного об'єму газу і максимальної добової продуктивності. Капітальні вкладення у буріння свердловин, об'єкти сушки, очищення, виміру газу, компресорну станцію (якщо вона працює на відбір) відносяться до витрат, які більшою мірою залежать від максимальної добової продуктивності. Вкладення, спрямовані на створення буферного газу, компресорну станцію (якщо вона працює на закачування), будівлі і споруди, залежать від активного об'єму газу. Загальні витрати на створення (розширення) газосховища розраховуються за формулою [4]:

$$K_{\text{ПХГ}} = \alpha(q_{k1} \cdot t - V_{k0}) + \beta(q_{k2} - q_{k0}) \quad (1)$$

де  $K_{\text{ПХГ}}$  – капітальні вкладення в спорудження (розширення) сховища газу;  $\alpha, \beta$  – питомі капітальні вкладення в створення активного об'єму сховища і збільшення його добової продуктивності;  $q_{k0}, V_{k0}$  – відповідно існуюча добова продуктивність сховища і створений активний об'єм;  $q_{k1}, q_{k2}$  – середня добова і максимальна продуктивність сховища відповідно;  $t$  – тривалість відбору газу.

За результатами розрахунків визначаються коефіцієнти  $\alpha, \beta$  (табл. 4) величина яких при розв'язанні рівнянь матеріального балансу зіставляється з аналогічними величинами для інших типів природних резервуарів. Аналіз отриманих значень показує, що зменшення капітальних вкладень досягається збільшенням максимального добового відбору газу, у зв'язку з чим підземні сховища вигідно створювати в районах великого газоспоживання у водоносних пластах. Інші типи резервуарів (соляні каверни, відпрацьовані газові і нафтові поклади) не можуть служити альтернативними ємностями, зважаючи на обмеженість їх поширення на території Дніпропетровщини.

## Питомі капітальні вкладення на створення газосховищ в різних середовищах

Тип резервуару	Середньодобовий відбір газу, млн.м <sup>3</sup> /доб	Максимальний добовий відбір газу, млн.м <sup>3</sup> /доб	Капітальні вкладення, всього, млн. \$	Питомі капітальні вкладення залежні від активного об'єму газу, \$/м <sup>3</sup>	Питомі капітальні вкладення, залежні від добової продуктивності, \$/ м <sup>3</sup> /доб
Водоносний пласт (1 варіант)	16	35	149,6	0,03	2,07
Водоносний пласт (2 варіант)	20	58	177,8	0,04	1,04
Відпрацьоване родовище	6,7	32	100	0,07	0,76
Соляні відкладення	5,3	30	126,6	0,1	1,44

Якщо ефективність створення сховища в обраному резервуарі в порівнянні з іншими варіантами зберігання газу є найвищою, визначається результативність його фінансово-господарської експлуатації. Для цього на практиці використовується показник абсолютної ефективності, що представляється як відношення доходу від зберігання активного газу до капітальних вкладень на створення цього об'єму. Можливі два підходи до розрахунків [4]: з використанням діючих тарифів на газ або на основі показників ефективності щодо вартості зберігання газу та прибутковості об'єкту. Як правило, в умовах державного регулювання при використанні існуючих цін на газ показник ефективності виходить негативним, тому його доцільно розраховувати за нормативними показниками рентабельності. У цьому випадку величина тарифів розраховується за поточними витратами, податками і платежами, пов'язаними з експлуатацією сховища. Інвестиційна складова в такому тарифі визначається показником внутрішньої норми рентабельності і терміном окупності, а абсолютна ефективність виражається чистою дисконтною вартістю, внутрішньою нормою рентабельності і коефіцієнтом прибутковості витрат, що визначаються за формулами [5]:

$$K_n = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \frac{(T_c \cdot Q) - (C + P)}{(C + P)}, \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T [(Q \cdot T_c) - C - C \cdot K_n - H - I] \cdot \frac{1}{(1 + E_p)^t} = 0 \quad (3)$$

де  $K_n$  – коефіцієнт прибутковості витрат;  $T_c$  – тариф за зберігання газу;  $Q$  – об'єм активного газу;  $P$  – платежі до бюджету;  $C$  – поточні витрати, що включають амортизацію;  $T$  – розрахунковий період;  $t$  – крок періоду;  $H$  – податки й платежі до бюджету;  $I$  – інвестиції в  $t$ -му році;  $E_p$  – внутрішня норма рентабельності.

Чисельний аналіз рівнянь (2), (3) було проведено в програмному середовищі Microsoft Excel з урахуванням рекомендацій ДП "Укртрансгаз" [3] стосовно інвес-

тицій і витрат, пов'язаних з експлуатацією сховища. Після чого, задаючись коефіцієнтами прибутковості і активним об'ємом газу, визначалися вартості послуг за його зберігання. При заданих величинах також обчислювалася внутрішня норма рентабельності і чиста дисконтна вартість. Термін експлуатації сховища в усіх розрахунках приймався 30 років. У таблицях 5 – 7 наведені оцінки критеріїв ефективності створення нового газосховища в умовах Західного Донбасу з різними об'ємами активного газу і вартостями послуг за його зберігання.

Таблиця 5

Зміна коефіцієнта прибутковості

Активний об'єм газу, млн. м <sup>3</sup>	Вартість послуг за зберігання газу, грн/1000 м <sup>3</sup>				
	53	58	67	85	98
2000	0,5	0,6	1	1,1	1,4
4000	0,7	0,8	1,2	1,2	1,5
6000	1	1,3	1,4	1,6	1,7

Таблиця 6

Зміна внутрішньої норми рентабельності, %

Активний об'єм газу, млн. м <sup>3</sup>	Вартість послуг за зберігання газу, грн/1000 м <sup>3</sup>				
	53	58	67	85	98
2000	7,7	8,5	10	13,4	16,1
4000	8,8	9,7	11,6	14,8	17,2
6000	10	11,7	12,6	15,4	19,1

Таблиця 7

Зміна чистої дисконтної вартості, млн. грн.

Активний об'єм газу, млн. м <sup>3</sup>	Вартість послуг за зберігання газу, грн/1000 м <sup>3</sup>				
	53	58	67	85	98
2000	-98	-89	0	223	374
4000	-81	-12	132	415	625
6000	0	84	261	612	738

Аналіз отриманих показників свідчить про те, що за умов існуючих витрат на створення нового сховища (устаткування, будівництво, закачування буферного газу і буріння свердловин) вартість послуг за зберігання газу не повинна перевищувати 60-100 грн/1000 м<sup>3</sup> за рік для об'єктів з активним об'ємом не менш 2 млрд. м<sup>3</sup>. При цьому внутрішня норма рентабельності може коливатись від 10 до 15%, що у більшості випадків відповідає ставкам дисконту. Створення сховищ меншого об'єму в умовах сучасних цін на газ неефективно.

Існуючі тарифи на послуги зі зберігання газу в діючих сховищах вкладаються у діапазон від 30 до 40 грн/1000 м<sup>3</sup>, що в 1,5-2 рази нижче розрахованих. Проведення реконструкції сховищ, що експлуатуються як правило, несуттєво збільшує їх об'ємні показники. Тому вартість зберігання газу в діючому сховищі наближатиметься до вартості послуг за зберігання газу в новому об'єкті.

**Оцінювання ефективності підземного зберігання теплової енергії у водоносних пластах.** У випадку закачування у природні колектори Західного Донбасу замість газу поверхневих вод, система зберігання тепла може розглядатись як станція геотермального теплопостачання. У зв'язку зі схожістю геотермічних умов, геолого-економічна оцінка і розрахунок оптимальних параметрів цієї станції можуть бути проведені за емпіричними залежностями, запропонованими у [2] для економіко-математичного моделювання геотермальної циркуляційної системи в Московській синеклізі:

Оптимальна теплопродуктивність (ГДж/год) визначається за формулами:

$$\begin{aligned}
 Q &= -aH^3 + bH^2 - cH + d; \\
 a &= 1.6 \cdot 10^{-4} \cdot t^{2.295}; \\
 b &= 7.1 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 0.38 \cdot t + 7.269; \\
 c &= 12.5 \cdot 10^{-3} \cdot t^2 - 0.698 \cdot t + 16.232; \\
 d &= 1,846 \cdot t - 37.8.
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Чиста дисконтна вартість NPV (тис.долл.) визначається таким чином:

$$\begin{aligned}
 NPV &= -a \cdot \ln t - b, \\
 a &= 6,0268 \cdot H^3 - 33,501 \cdot H^2 + 60,809 \cdot H - 7,205; \\
 b &= 24,595 \cdot H^3 - 135,05 \cdot H^2 + 249,29 \cdot H - 60,86.
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Капіталовкладення на будівництво геотермального модуля (тис. долл.) обчислюються за формулами :

$$\begin{aligned}
 K &= -a \cdot t^2 - b \cdot t + c, \\
 a &= -0,00317 \cdot H^3 + 0,01595 \cdot H^2 + 0,01272 \cdot H - 0,0052; \\
 b &= 4,128 \cdot H - 1,6341; \\
 c &= 27,285 \cdot H^3 - 164,04 \cdot H^2 + 431,96 \cdot H - 175,94.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  – чисельні коефіцієнти;  $H$  – глибина залягання колектора, км;  $t$  – температура теплоносія,  $^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 2, 3 наведені результати розрахунків за формулами (4)-(6). Аналіз графіків показує, що на економічні показники геотермальної системи суттєво впливає глибина пласта і температура теплоносія. Залежність інвестицій і прибутків від цих умов обмежує раціональні глибини колекторів: при  $20^{\circ}\text{C}$  – менше 850 м, при  $25^{\circ}\text{C}$  – 1000 м, а при  $30^{\circ}\text{C}$  – 1200 м. Закачування поверхневих вод в пласти, що залягають нижче цих відміток призводить до від'ємних значень NPV, а отже збитковості проекту. Позитивні значення NPV характерні для глибин 500-1000 м свідчать про те, що впродовж усього періоду експлуатації станція геотермального теплопостачання відшкодує первинні витрати і забезпечить отримання прибутку згідно із стандартом дисконтної ставки. При цьому теплопродуктивність станції сягатиме 30 ГДж/год, що задовольняє світовим умовам ефективного застосування геотермальних циркуляційних систем в природних колекторах [2].

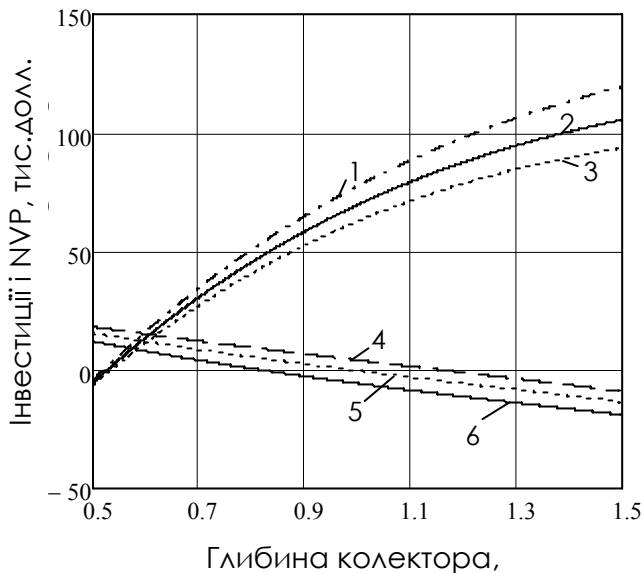


Рис. 3. Капіталовкладення (1 – 3) та NPV (4 – 6) на створення станції геотермального теплопостачання у колекторах з глибиною залягання 0,5-1,5 км та різною температурою теплоносія: 1, 6 – 20<sup>0</sup>С; 2, 5 – 25<sup>0</sup>С; 3, 4 – 30<sup>0</sup>С.

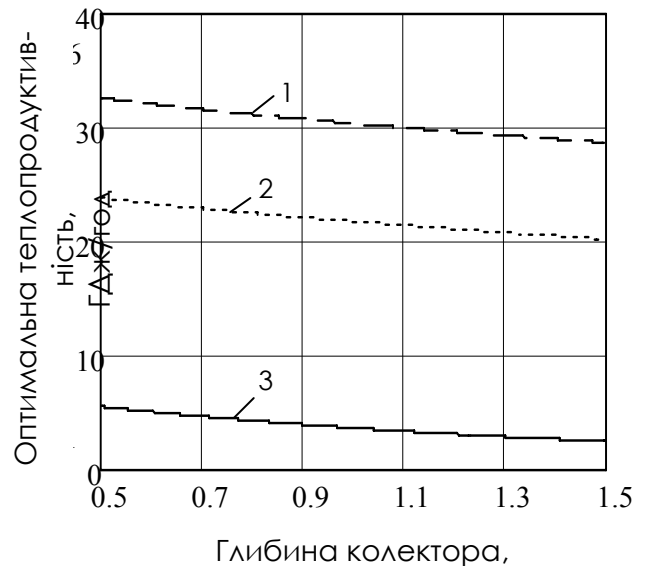


Рис. 4. Оптимальна теплопродуктивність станції геотермального теплопостачання у колекторах з глибиною залягання 0,5-1,5 км: 1, 2, 3 – відповідно температура теплоносія 30, 25 та 20<sup>0</sup>С.

**Висновки.** Економічно доцільне покриття коливань газоспоживання на Дніпропетровщині можливо шляхом акумуляції теплової енергії у водоносних колекторах Західного Донбасу. При цьому тарифи на послуги зі зберігання газу повинні забезпечити підприємству стабільне покриття понесених витрат і отримання прибутку впродовж року. Це досягається за умов активного об'єму сховища не менш 2 млрд. м<sup>3</sup> та тарифах на послуги зі зберігання газу, що у 1,5-2 рази більше діючих. При використанні в якості теплоносія поверхневих вод їх мінімальна температура складає 20<sup>0</sup>С, а глибина експлуатованих колекторів більше 1 км. Техніко-економічні показники свідчать про можливість забезпечити відшкодування первинних витрат на створення сховища теплової енергії та отримання прибутку згідно із стандартом дисконтної ставки.

#### Список літератури

1. Энциклопедия газовой промышленности. 4-е изд. Пер. с франц.: Ред. пер. К.С. Басниев. – М.: Акционерное общество «Твант», 1994.–884 с.
2. Арнс В.Ж. Физико-химическая геотехнология. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2001. – 656 с.
3. Винокуров С., Клюк Б., Вечерик Р., Шваченко И. Уникальные сокровищницы Украины // Еженедельник 2000. – 2010. – № 27-28. – С. 5.
4. Фурман И.Я. Подземное хранение газа в единой системе газоснабжения. – М.: Недра, 1992.–315с.
5. Гидулянов В.И., Хлопотов А.Б. Анализ методов оценки капитальных вложений. – М.: Издательство Московского государственного университета, 2003. – 78с.

*Рекомендовано до публікації Бузилом В.І.  
Надійшла до редакції 20.06.11*



## МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛОВ, ЗАКАЛЕННЫХ ИЗ ЖИДКОГО СОСТОЯНИЯ

В работе представлена усовершенствованная математическая модель неизотермического сверхбыстрого затвердевания металлов. Модель позволяет получать распределение кристаллов по размерам, и таким образом прогнозировать структуру быстро охлажденного металлического образца в зависимости от его размеров и скорости охлаждения.

В роботі представлена вдосконалена математична модель неизотермічного надшвидкого затвердіння металів. Модель дозволяє одержувати розподіл кристалів за розмірами, і таким чином прогнозувати структуру швидко охолодженого металевого зразка залежно від його розмірів і швидкості охолодження.

In work the improved mathematical model of unisothermal rapid solidification of metals is presented. A model allows to get distributing of crystals on sizes, and thus forecast the structure of the quickly chilled metallic specimen depending on his sizes and rate of cooling.

Структура металлов и сплавов во многом определяет их механические свойства (прочность, пластичность и т.д.) и антикоррозионные свойства. Различные методы закалки из жидкого состояния позволяют получать сплавы в некристаллическом (аморфном) состоянии или сплавы с мелкокристаллической структурой. Сплавы с такой структурой обладают повышенными механическими и антикоррозионными свойствами. Моделирование процесса ЗЖС позволяет рассчитывать критические скорости охлаждения расплава, при которых возможно некристаллическое затвердевание. К настоящему времени разработано достаточно много методов математического моделирования, решающих эту задачу [1 - 3]. Однако, в данных работах не учитывается возможность частичной либо полной кристаллизации расплава. В этом случае необходимо учитывать процессы столкновения и частичной блокировки растущих кристаллов. Эта задача была решена в работе [4]. Представленный в работе [4] алгоритм моделирования позволил в частности рассчитать критическую скорость охлаждения чистого никеля –  $10^{10}$  К/с, хорошо согласующуюся с известными экспериментальными данными [5]. Тем не менее, вопрос о модельном прогнозировании структуры быстро охлажденных сплавов в случае их полной кристаллизации остается нерешенным.

В данной работе была поставлена задача: разработать алгоритм прогнозирования структуры закаленных из жидкого состояния металлов, используя модель процесса сверхбыстрого затвердевания, основанную на неизотермическом уравнении кристаллизации. Провести модельные исследования влияния режима охлаждения на структуру образца в случае его полной или частичной кристаллизации. Определить режимы охлаждения, обеспечивающие получение металлов с наиболее однородной мелкокристаллической структурой.

В развитие ранее разработанной модели [4] в данной статье предлагается алгоритм прогнозирования структуры сплавов в случае их полной или частичной кристаллизации при охлаждении со скоростями ниже критической. Этот алгоритм позволяет получить распределение кристаллических зерен по размерам, что дает

возможность рассчитать средний и наиболее вероятный размер кристаллов, а также размер кристаллов, на которые приходится наибольшая доля объема закристаллизованного расплава.

Моделирование процесса сверхбыстрого затвердевания расплава в раннее представленной работе [4] осуществлялось при помощи кинетического уравнения

$$x(t) = \frac{4}{3} \pi \int_0^t I(t')(1-x(t')) \left[ R_K(t') + \int_{t'}^t u(\tau)(1-x(\tau))d\tau \right]^3 dt'. \quad (1)$$

Оно преобразовывалось в систему дифференциальных уравнений

$$dx(t) = (1-x(t)) \left( S_{y\partial}(t)u(t) + I(t) \frac{4}{3} \pi R_K^3(t) \right) dt \quad (2)$$

$$dS_{y\partial}(t) = I(t)(1-x(t))4\pi R_K^2(t)dt + 8\pi u(t)(1-x(t))A(t)dt \quad (3)$$

$$dA(t) = I(t)(1-x(t))R_K(t)dt + u(t)B(t)(1-x(t))dt \quad (4)$$

$$dB(t) = I(t)(1-x(t))dt. \quad (5)$$

Здесь  $x(t)$  – доля закристаллизованного объема в момент времени  $t$ .  $S_{y\partial}$ ,  $A$ ,  $B$  – суммы соответственно площадей поверхности, радиусов и числа растущих кристаллов, приходящиеся на единицу объема,  $R_K(t')$  – радиус гомогенно образовавшегося в расплаве критического зародыша,  $I(t')$  – скорость гомогенного зарождения,  $u$  – скорость роста кристаллов.  $dx$ ,  $dS_{y\partial}$ ,  $dA$ ,  $dB$  – это приращения этих параметров за малый промежуток времени  $dt$  (на одном временном шаге моделирования процесса затвердевания)

Распределение кристаллов по размерам в данной работе получали следующим методом. Вначале все возможные размеры будущих кристаллов разбиваются на группы. Интервал размеров кристаллов в каждой группе задается с помощью параметра  $d_R$ , который вычисляется по формуле

$$d_R = m \log \cdot \sqrt[3]{V}. \quad (6)$$

$V$  – это объем пленки расплава,  $m \log$  – это некоторый множитель порядка  $10^{-6} - 10^{-4}$ , с помощью которого корректируется значение  $d_R$ . Наилучшее значение  $m \log$  для каждой толщины пленки подбирается экспериментально. На каждом временном шаге образуются новые зародыши. Все образовавшиеся на данном временном шаге зародыши критического размера попадают в одну размерную группу, номер которой определяется как отношение радиуса критического зародыша  $R_K$  к интервалу разбиения по размерам  $d_R$ . Кроме того, на каждом временном шаге производится расчет увеличения с накоплением размеров всех уже имеющихся кристаллов на величину  $u(t)(1-x(t))dt$ . Если на каком то очередном шаге по времени накопившееся увеличение размеров кристаллов становится больше  $d_R$ , значит возможен переход кристаллов каждой размерной группы в

соседнюю, соответствующую большим размерам кристаллов. Возможно, что при интенсивном росте на одном временном шаге увеличение размеров кристаллов будет больше либо равно  $2 d_R$  или  $3 d_R$  или  $5 d_R$  и т.д. Тогда происходит переход числа кристаллов из каждой группы не в соседнюю группу, а через несколько номеров групп.

На рисунке 1, в качестве примера, представлены результаты расчета для охлажденной из жидкого состояния со скоростью  $8 \cdot 10^9$  градусов в секунду пленки никеля толщиной 0,1 мкм и площадью  $1 \text{ см}^2$ . Дано распределение числа образовавшихся кристаллов по размерам. Максимум распределения соответствует 11 нм. Средний радиус кристаллов при этой скорости охлаждения равен 14 нм. На рисунке 2 дано распределение объема закристаллизовавшейся пленки по размерам кристаллов. Наибольший объем приходится на кристаллы близкие по размерам к 20 нм. На рисунке 3 даны результаты расчетов (наиболее вероятный размер, средний размер и размер кристаллов занимающих большую часть объема) в более широком интервале скоростей охлаждения для быстроохлажденной пленки никеля того же размера. По мере увеличения скорости охлаждения средний радиус кристаллов практически линейно уменьшается. Наиболее вероятный размер кристаллов и размер кристаллов на которые приходится большая часть закристаллизовавшегося объема также уменьшаются по мере роста скорости охлаждения с примерно такой же скоростью. При скоростях охлаждения близких к критической средний и наиболее вероятный размеры кристаллов принадлежат нанодиапазону.

Изменение характера этих зависимостей наблюдается при скоростях охлаждения больших  $9 \cdot 10^9$  град/сек, что вызвано изменением характера процесса затвердевания. На рисунке 4 дана зависимость доли закристаллизованного объема от скорости охлаждения. При скоростях охлаждения больших  $9 \cdot 10^9$  град/сек не весь объем расплава кристаллизуется, т.е. наблюдается переход от кристаллического к аморфному затвердеванию. Соответственно, меняется и температурный режим затвердевания.

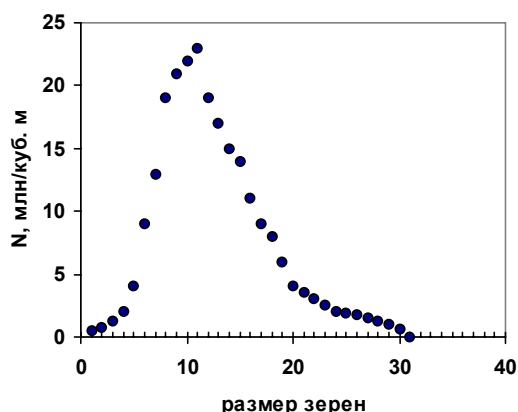


Рис. 1. Зависимость числа кристаллов в единице объема образца от размера кристаллов  
Цена деления -1,15 нм

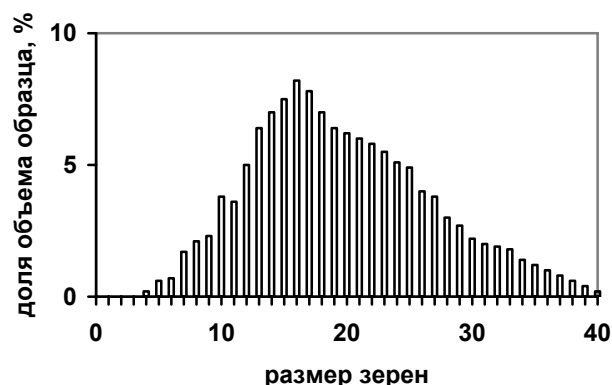


Рис. 2. Зависимость доли закристаллизованного объема от размера кристаллов  
Цена деления -1,15 нм

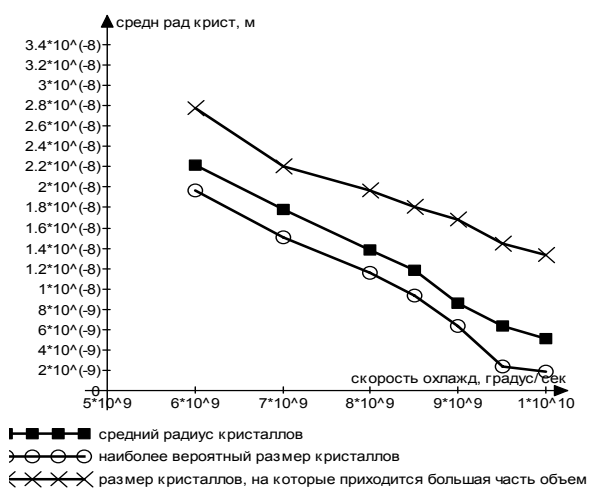


Рис. 3. Зависимость среднего, наиболее вероятного размеров кристаллов и размера кристаллов, занимающих наибольший объем образца от скорости охлаждения.

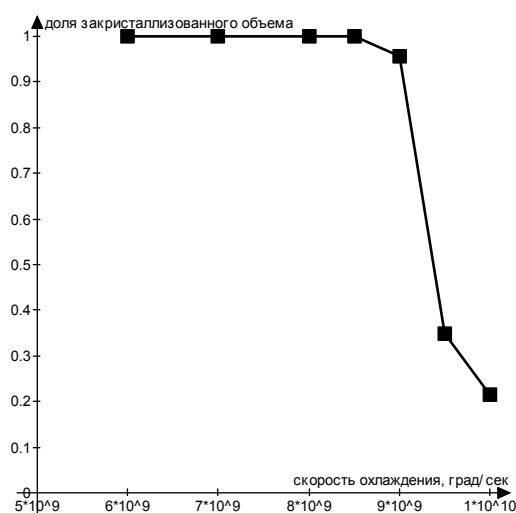


Рис. 4. Зависимость доли закристаллизованного объема образца от скорости охлаждения.

При скоростях охлаждения меньших  $8 \cdot 10^9$  град/сек на расчетных кривых охлаждения есть участки глубокого переохлаждения ниже равновесной температуры кристаллизации и участки рекалесценции – подъёма температуры почти до равновесной при начале интенсивной кристаллизации (рис. 5). При скорости охлаждения выше критической ( $> 9 \cdot 10^9$  град/сек) процесс затвердевания сопровождается постоянным уменьшением температуры. В узком интервале скоростей охлаждения  $8,5 - 9 \cdot 10^9$  град/сек расплав затвердевает практически изотермически при переохлаждении ниже температуры плавления около 800 градусов.

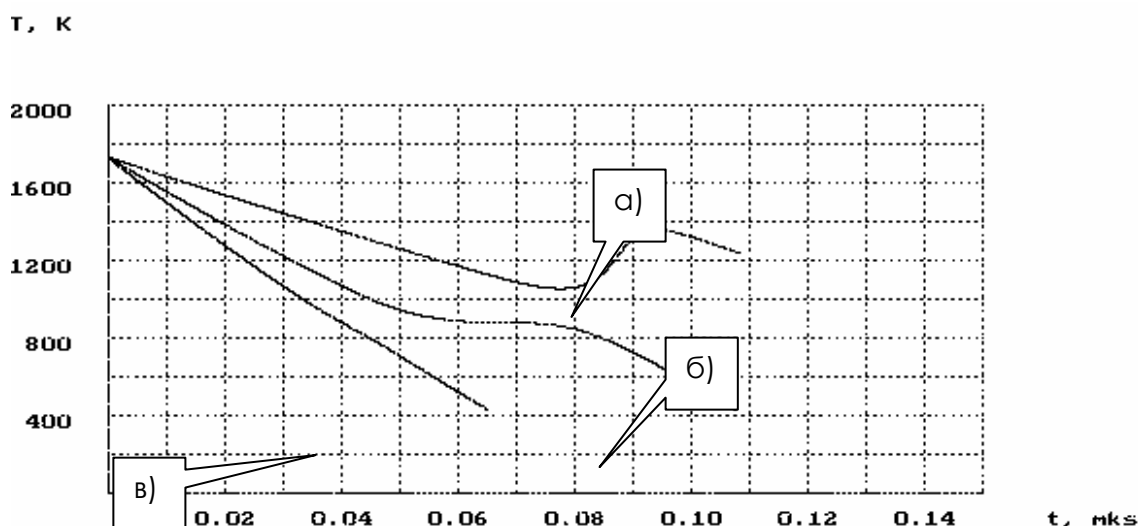


Рис. 5. Зависимость температуры металла от времени для трех скоростей охлаждения: а)  $5 \cdot 10^9$  град/с; б)  $9 \cdot 10^9$  град/с; в)  $12 \cdot 10^9$  град/с.

Дисперсия размеров кристаллов при увеличении скорости охлаждения также уменьшается. (рис. 6). Таким образом, при скорости охлаждения близкой к критической  $8 - 9 \cdot 10^9$  град/сек можно получить полностью закристаллизовавшийся материал достаточно однородный по размерам зерен. Средний размер зерен при этом будет соответствовать нанодиапазону.

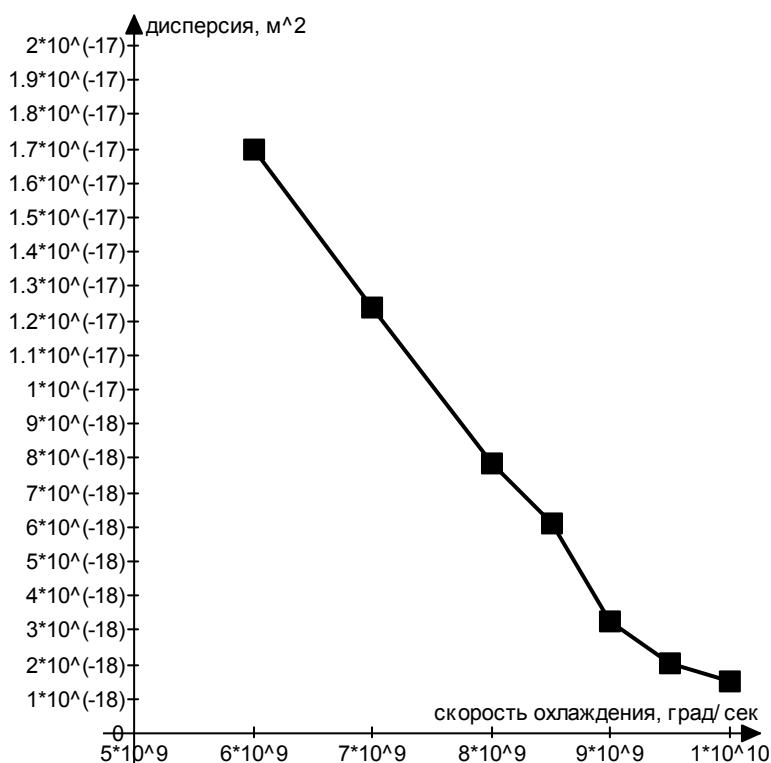


Рис. 6. Зависимость дисперсии размеров кристаллов от скорости охлаждения образца

В работе был разработан новый алгоритм моделирования процесса сверхбыстрого охлаждения металлов, включающий в себя расчет распределения кристаллов в образце по размерам. Проведенные модельные исследования позволили определить влияние режима охлаждения при закалке из жидкого состояния на распределение кристаллов по размерам в случае, если процесс аморфизации металла не реализуется. Анализ полученных распределений позволил определить такие важные структурные характеристики металла как средний и наиболее вероятный размер кристаллов, а также размер кристаллов, на которые приходится наибольший объем металла. Показано, что при сверхбыстром затвердевании металлов можно подобрать такую скорость охлаждения близкую к критической, при которой структура образца получается наиболее однородной по размерам кристаллов, а средний размер кристаллов составляет около десяти нанометров. Разработанный алгоритм целесообразно адаптировать для многокомпонентных систем для прогнозирования структуры сплавов, закаленных из жидкого состояния.

#### Список литературы

1. Набережных В.П., Селяков Б.И., Ткач В.И. Кинетика кристаллизации в тонких слоях жидких и аморфных металлов. – Донецк: 1988. – 34 с. (Препр. /АН Украины. ДонФТИ; 88-24).
2. Lisov V.I., Tsaregradskaya T.L., Turkov O.V., Kharkov V.E. The crystallisation kinetics of amorphous alloys of Fe-B system//Metallofiz. Noveishie Teknol.- 1999.- V.21, № 12.- P. 34-37.
3. Betz G. Computer modeling of initial stages of thin film formation// Proc. “Evolution of Surface Morphology and Thin-Film Microstructure”.- 1997.-P.134.
4. Лысенко А.Б., Якунин Е.А. Вывод неизотермического кинетического уравнения кристаллизации //Сборник научных трудов национального горного университета. – 2004. -№20. – С. 143 – 147.
5. Davies H.A., Hull J.B. The formation, structure and crystallization of non-crystalline nickel produced by splat-quenching //Journal of Materials science.-1976.-№11.-P. 215-223.

*Рекомендовано до публікації Ширінім Л.Н.  
Надійшла до редакції 20.06.11*

УДК 622.625.28

© С.Е. Блохин

### **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОРМОЗНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ШАХТНЫХ ЛОКОМОТИВОВ**

Определено, что наиболее перспективным типом шахтных локомотивов для угольных шахт Украины есть тяжелые шарнирно-сочлененные. Такие локомотивы должны иметь многократное резервирование тормозных устройств, создающих тормозную силу как в контакте колеса и рельса, так и рельсовыми тормозами. Актуальными становятся автоматические системы, отслеживающие максимально возможный коэффициент сцепления колеса и рельса в данных условиях движения и предотвращающие появление юза.

Визначено, що найперспективнішим типом шахтних локомотивів для вугільних шахт України є важкі шарнірно-зчленовані. Такі локомотиви повинні мати багаторазове резервування гальмівних пристроїв, що створюють гальмівну силу як в контактi колеса і рейки, так і рейковими гальмами. Актуальними стають автоматичні системи, що відстежують максимально можливий коефіцієнт зчеплення колеса і рейки в даних умовах руху, і запобігають появі юза.

It is certain, that the heavy joint-joined are the most perspective type of mine locomotives for the coal mines of Ukraine. Such locomotives must have frequent reservation of brake devices, creating brake force both in the contact of wheel and rail, and by rail brakes. The automatic systems watching a maximally possible coefficient of rolling friction wheel and rail in the given terms of motion and preventing appearance of braking skidding is actual.

**Вступление.** Рельсовый локомотивный транспорт является основным средством транспортирования горной массы, оборудования, людей и материалов по горизонтальным выработкам горных предприятий. Но надежность тормозных систем шахтных локомотивов не позволяет увеличивать его производительность при безопасной эксплуатации, особенно при подземной добыче угля, главного энергоносителя Украины.

Повышение производительности внутришахтного рельсового транспорта возможно при увеличении массы и скорости движения поездов и зависит от применяемых на локомотиве тормозных устройств. Поскольку на шахтных вагонетках тормоза отсутствуют, то реализуемая локомотивом тормозная сила при торможе-

нии колесно-колодочным тормозом и системой динамического торможения ограничивается условиями взаимодействия колеса с рельсом, а отсутствие систем автоматического слежения за коэффициентом сцепления колеса и рельса приводит к недоиспользованию тормозных возможностей локомотива. Использование рельсовых тормозов снижает тормозной путь поезда, но поскольку развиваемая ими тормозная сила не регулируется, то при их включении возникают существенные продольные динамические нагрузки на подвижной состав.

Известно, что шахтные локомотивы в подземных условиях обслуживают сравнительно небольшие участки рельсовых путей (как правило, до 10 км), а наиболее тяжелые поезда в грузовом направлении движутся на расстояния не более 2,5...3,5 км, потому наиболее тяжелые участки пути (с большим продольным уклоном, малым радиусом кривой в плане, ступеньками и проседаниями рельсовых стыков, уширениями рельсовой колеи и т.п.) могут быть заранее определены как потенциально опасные.

**Целью** настоящей работы есть определение путей развития шахтного рельсового транспорта, повышающих тормозные возможности локомотивов.

**Задачей работы** есть определение перспектив повышения тормозных характеристик шахтных локомотивов тормозными устройствами различных типов, для транспортирования грузов по рельсовым путям магистральных и вспомогательных выработок угольных шахт Украины.

**Изложение материалов исследования.** Существенное увеличение допустимой массы поезда по условию торможения на нормируемом тормозном пути (40 м для грузовых составов и 20 м – при перевозке людей) [1] возможно при использовании максимально больших тормозных моментов, не приводящих к срыву сцепления колеса и рельса, а также применении средств внеколесного торможения – магниторельсовых и гравитационных тормозов с регулируемой силой торможения.

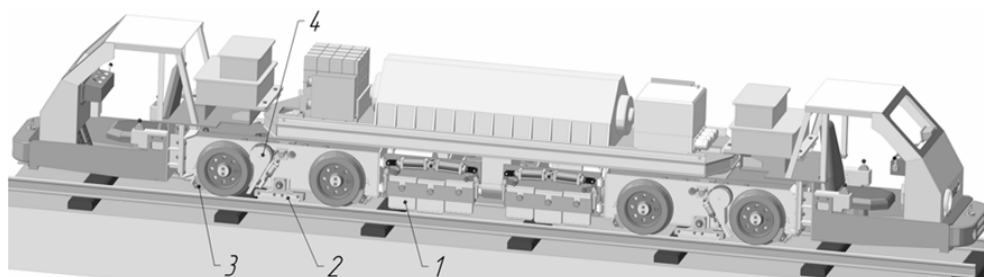


Рис. 1. Шахтный шарнирно-сочлененный локомотив Э10

Наиболее предпочтительными для использования на угольных шахтах Украины есть тяжелые локомотивы со сцепной массой 10 и более тонн. Однако при таком весе их габаритные размеры и, прежде всего, жесткая база (расстояние между осями колесных пар) значительно возрастают. Это мешает устойчивому движению и вписыванию в кривые малого радиуса шахтных рельсовых путей.

Наиболее перспективными в этом плане представляются шарнирно-сочлененные локомотивы, например кабельный электровоз Э10 [2], – головной образец из семейства модульных шахтных локомотивов, разработанный в ГВУЗ «НГУ» в 90-х годах, и показанный на рис. 1. Он содержит оборудованные

кабинами две тяговые и промежуточную (среднюю) секции. Система энерго-снабжения локомотива размещена на средней секции и может быть кабельной, контактной, аккумуляторной или гироскопической. На тяговой секции размещены секционные магниторельсовые 1, гравитационные 2 и колесно-колодочные 3 тормоза. Значительно повышает эффективность торможения подсыпка песка на дорожки катания рельсов, поэтому локомотив оборудован динамической песочницей 4 барабанного типа.

Традиционно в конструкции шахтных локомотивов применяют колесно-колодочный тормоз, (рис. 2), но создаваемая им тормозная сила существенно зависит от скорости движения поезда, состояния рельсового пути и температуры нагрева тормозных колодок, что не позволяет в полной мере реализовывать возможный коэффициент сцепления колеса и рельса. Применяемые в транспортных системах дисковые тормоза не имеют этого недостатка, а тормозная сила магниторельсового тормоза не зависит от сцепной массы локомотива. Гравитационные рельсовые тормоза дают возможность не только удерживать шахтный поезд на стоянке, но и экстренно его затормаживать.

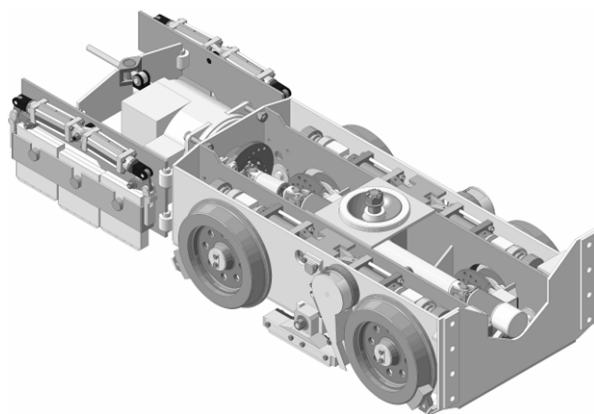


Рис. 2. Тележка шарнирно-сочлененного локомотива Э10

Наличие нескольких тормозных устройств различных типов позволяет осуществлять торможение как каждым из них в отдельности, так и одновременно несколькими. Это дает возможность создать тормозную систему шахтного локомотива, имеющую многократное резервирование. Использование колесно-колодочного тормоза должно быть обязательным при каждом торможении, но с его помощью следует создавать только около 25 % требуемой тормозной силы. Это позволит зачищать дорожки катания колес от угольно-породных загрязнений, повсеместно распространенных в шахтах, что повышает коэффициент сцепления колеса и рельса не только при торможении, но и при тяге. Остальные две трети тормозной силы могут формироваться дисковым трансмиссионным тормозом, а при выходе его из строя – дисковым осевым.

Поскольку вагонетки шахтного поезда не имеют тормозных устройств, то шахтный локомотив должен быть способен создать требуемую для остановки поезда тормозную силу только собственными тормозами, при этом приведенный коэффициент сцепления всего поезда  $\psi_{\Pi}$  будет значительно ниже, чем коэффициент сцепления локомотива  $\psi$ . Его определяют по выражению [3] как



$$\psi_{\Pi} = \frac{F_m + W_x + W_g}{G_l + G_g},$$

где  $F_m$  – тормозные силы, возникающие в точках контакта дорожек катания рельсов и колес локомотива, Н;  $W_x$  – сила продольного упругого скольжения колес локомотива в точке контакта с рельсами, Н;  $W_g$  – сила продольного сопротивления движению колес вагонеток в точке контакта с рельсами, Н;  $G_l$ ,  $G_g$  – сила тяжести локомотива и вагонеток соответственно, Н.

Дополнительную тормозную силу могут создать магниторельсовые тормоза. Наиболее перспективными из них следует считать тормоза на постоянных магнитах, прежде всего магнитопластах неодим–железо–бор. Эти магниты имеют высокую точность изготовления, неподвержены коррозии и устойчивы к значительным ударным нагрузкам (до 500g). Для изготовления токопроводов и полюсных наконечников наилучшим образом подходит первичное железо марки П1-9.95 (с содержанием железа от 99,95 % до 99,99 %). Хорошая теплопроводность и высокий коэффициент трения при большой коррозионной устойчивости делают этот магнитомягкий материал наиболее перспективным для изготовления магниторельсовых тормозов шахтных локомотивов.

Наилучшие возможности для регулирования тормозной силы магниторельсового тормоза дают секционные тормоза, в которых тормозные секции опускаются на рельсы последовательно одна за другой. Создаваемая ими тормозная сила при этом возрастает ступенчато, а общее количество уровней торможения может равняться 12.

Значительный запас по надежности имеет гравитационный рельсовый тормоз. Обычно он включается в случае необходимости экстренного торможения. Тогда из гидроцилиндров подвески локомотива сливается рабочая жидкость и рама тяговой секции опускается до касания тормозными колодками гравитационного тормоза головок рельсов, – начинается процесс торможения с постоянной тормозной силой. Однако, если применить гравитационный тормоз с подрессоренной колодкой, то тормозную силу можно регулировать изменяя высоту опускания рамы секции и, соответственно, величину деформации ресоры тормозной колодки гравитационного тормоза.

Совместное использование секционного магниторельсового тормоза и гравитационного с подрессоренной колодкой позволяет не только плавно регулировать тормозную силу (рывки от ступенчатого включения магниторельсового тормоза будут сглаживаться плавным возрастанием тормозной силы на гравитационном), но и гарантированно останавливать шахтный поезд на участках рельсовой колеи с величиной продольного уклона пути до 50 ‰.

В отличие от железнодорожного транспорта, на шахтном рельсовом пока отсутствуют серийно выпускаемые системы автоматического контроля за коэффициентом сцепления колеса и рельса, что не позволяет заблокировать колеса локомотива при торможении и, соответственно, недопустить появления юза. Такие системы могут определять величину относительно скольжения колеса по рельсу, вычисляя ее по показаниям датчиков переносной и окружной скорости

колес, и в зависимости от ее значения уменьшать прикладываемый к тормозным устройствам тормозной момент, или увеличивать его для достижения минимально возможного значения тормозного пути шахтного поезда.

Кроме того, если режим экстренного торможения устройствами, реализующими тормозную силу в контакте колеса и рельса, оказался недостаточно эффективным (величина замедления поезда не достигла заранее установленного минимального значения), то система автоматически включит магниторельсовые тормоза, а затем и гравитационные. Это позволит машинисту избежать ошибок в управлении шахтным локомотивом и гарантированно остановить поезд на минимально возможном для данной дорожной обстановки тормозном пути.

**Выводы.** 1. Наиболее перспективными для шахт Украины являются шарнирно-сочлененные локомотивы со сцепной массой 10 и более тонн.

2. Использование колесно-колодочного тормоза должно быть обязательным при каждом торможении, но с его помощью следует создавать только около 25 % требуемой тормозной силы. Это позволит зачищать дорожки катания колес от угольно-породных загрязнений, повсеместно распространенных в шахтах. Таким образом, повышается коэффициент сцепления колеса и рельса не только при торможении, но и при тяге. Остальные две трети тормозной силы могут формироваться дисковым трансмиссионным тормозом, а при выходе его из строя – дисковым осевым.

3. Наиболее перспективными магнитотвердыми материалами для секционных магниторельсовых тормозов следует считать магнитопласты неодим–железо–бор. Эти магниты имеют высокую точность изготовления, неподвержены коррозии и устойчивы к значительным ударным нагрузкам (до 500g). Для токопроводов и полюсных наконечников наилучшим образом подходит первичное железо марки ПІ-9.95 (с содержанием железа от 99,95 % до 99,99 %). Хорошая теплопроводность и высокий коэффициент трения при высокой коррозионной устойчивости делают этот магнитомягкий материал наиболее перспективным для изготовления магниторельсовых тормозов шахтных локомотивов.

5. Совместное использование секционного магниторельсового тормоза и гравитационного с подрессоренной колодкой позволяет не только плавно регулировать тормозную силу (рывки от ступенчатого включения магниторельсового тормоза будут сглаживаться плавным возрастанием тормозной силы на гравитационном), но и гарантированно останавливать шахтный поезд на участках рельсовой колеи с величиной продольного уклона пути до 50 ‰.

#### Список литературы

1. Правила безпеки у вугільних шахтах. НПАОП 10.0-1.01-10. – К.: Друкарня ДП «Редакція журналу «Охорона праці». – 2010. – 430 с.
2. Мишин В. В. Математическая модель шахтного секционного локомотива в кривой / В. В. Мишин, О. Б. Зайцева // Изв. вузов. Горный журнал. – 1992. – № 4. – С. 71 – 74.
3. Коптовец А. Н. Исследование тормозной эффективности шахтных поездов / А. Н. Коптовец, С. Ф. Шибалов, А. В. Новицкий // Гірнична електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб. – 2004. – Вып. 203. – С. 56 – 61.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Самусею В.І.  
Надійшла до редакції 26.04.11*

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

- Алексеев Михаил Александрович** – д.т.н., професор, зав. каф. програмного забезпечення комп'ютерних систем Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск
- Ангеловский Александр Анатольевич** – технічний директор ПАО «Краснодонуголь»
- Бабенко Татьяна Васильевна** – д.т.н., професор каф. програмного забезпечення комп'ютерних систем Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск
- Блохін Сергій Євгенович** – д.т.н., професор, декан ММФ Державного ВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ
- Бойко Олег Александрович** – асистент кафедри автоматизації та комп'ютерних систем Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск
- Бойчук Лідія Олегівна** – аспірант, асистент каф. програмного забезпечення автоматизованих систем, Івано-Франківський Національний технічний університет нафти і газу
- Бубликов Андрей Викторович** – к.т.н., асистент каф. АКС Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск
- Бурлесв Олег Леонідович** – аспірант, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", м. Харків
- Буцукин Валерий Витальевич** – к.т.н., доцент каф. механічного обладнання заводів чорної металургії Приазовського державного технічного університету, м. Маріуполь
- Волик Юлія Володимирівна** – аспірант Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»
- Галата Альона Володимирівна** – к.х.н., доцент каф. екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету
- Герасименко Тетяна Володимирівна** – асистент каф. економіки підприємства Державного ВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ
- Герасина Александра Владимировна** – асистент кафедри електроніки та вичислительної техніки Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск
- Головко Вячеслав Ильич** – д.т.н., професор кафедри автоматизації виробничих процесів НМетАУ, г. Днепропетровск
- Демчина Микола Миколайович** – аспірант каф. програмного забезпечення автоматизованих систем, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу.
- Дергачов Володимир Андрійович** – к.т.н., доцент, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", м. Харків
- Дрешпак Наталя Станіславовна** – асистент кафедри метрології та інформаційно-вимірних технологій НГУ, г. Днепропетровск
- Егоров Александр Петрович** – к.т.н., зав. кафедрой, Национальная металлургическая академия Украины НМетАУ, г. Днепропетровск
- Зберовский Василий Владиславович** – к.т.н., ст. науч. сотр. ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск
- Зберовський Олександр Владиславович** – д.т.н., зав. каф. екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету.
- Зуєвська Наталя Валеріївна** – к. т.н., доцент Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»
- Инкин Александр Викторович** – к.т.н., доцент кафедри гідрогеології та інженерної геології Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск
- Карпенко Олег Олександрович** – зав. сектором технічного забезпечення відділу інформаційних технологій та комп'ютерного забезпечення Дніпродзержинської міської ради, ст. викладач кафедри екології та охорони навколишнього середовища ДДТУ
- Каталенец Анатолий Иванович** – професор, доктор геолого-мінералогічних наук, Криворожський економічний інститут Київського національного економічного університету ім. В. Гетьмана
- Кичурчак Василий Михайлович** - ведучий геолог, кандидат геолого-мінералогічних наук ДГЭ «Днепрогеофизика» ГПП «Укргеофизика»,

**Клименко Тетяна Карлівна** – к.б.н., доцент каф. екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету

**Колосов Дмитро Леонідович** – к.т.н., доцент кафедри будівельної, теоретичної і прикладної механіки Державного ВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ

**Коровин Юрий Федорович** – д.т.н., професор каф. каф. екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету

**Костенко Олена Михайлівна** – к.т.н., проректор з навчально-педагогічної та інноваційної роботи, Полтавська державна аграрна академія, м. Полтава

**Кошовий Микола Дмитрович** – д.т.н., зав. каф. авіаційних приладів і вимірювань, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", м. Харків

**Кравченко Владимир Михайлович** – д.т.н., проф. каф. механічного обладнання заводів чорної металургії Приазовського державного технічного університету, м. Маріуполь

**Кузнєцов Денис** – аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж Криворізького технічного університету, м. Кривий Ріг

**Кузьменко Михаил Юрьевич** – магістр Национальная металлургическая академия Украины НМетАУ, г. Днепропетровск

**Купін Андрій Іванович** – д.т.н., доцент, зав. каф. комп'ютерних систем та мереж Криворізького технічного університету, м. Кривий Ріг

**Лозовягин Алексей Владимирович** – асистент каф. АКС Государственный ВУЗ НГУ, г. Днепропетровск

**Мазур Руслан Анатольевич** – к.т.н., асистент каф. АКС Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск

**Мещеряков Леонид Иванович** – д.т.н., доцент кафедры программного обеспечения компьютерных систем Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск

**Музика Іван Олегович** – аспірант Криворізького технічного університету, м. Кривий Ріг

**Непошивайленко Наталія Олександрівна** – к.т.н., доцент каф. екології та охорони навколишнього середовища Дніпродзержинського державного технічного університету.

**Огеенко Павел Юрьевич** – асистент каф. АКС Государственный ВУЗ НГУ, г. Днепропетровск

**Пазынич Артём Вячеславович** – інженер 1 кат. ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

**Перков Евгений Сергеевич** – аспірант каф. геологии и разведки месторождений полезных ископаемых (ГР МПИ) Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск

**Пігулевський Петро Гнатович** – к.геол.н., с.н.с., доцент каф. геофізики Державного ВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ

**Познанский Павел Сергеевич** – аспірант кафедры автоматизированного управления технологическими процессами Донбасского государственного технического университета

**Поляков Юрий Евгеньевич** – інженер 2 кат. ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

**Поповченко Сергей Евгеньевич** – ведучий научный сотрудник, к.г.-м.н., руководитель Центра аналитико-технологических исследований Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск

**Потапенко Александр Алексеевич** – генеральный директор ПАО «Краснодонуголь»

**Радченко Виктория Петровна** – асистент кафедры автоматизации производственных процессов НМетАУ, г. Днепропетровск

**Самуся Сергей Владимирович** – к.т.н., ведучий инженер ИГТМ НАН Украины, г. Днепропетровск

**Сидоров Владимир Анатолиевич** – к.т.н., доцент каф. механічного обладнання заводів чорної металургії Приазовського державного технічного університету, м. Маріуполь

**Соседка Вилий Лукич** – к.т.н., доцент каф. АКС Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск

**Ткачов Віктор Васильович** – д.т.н., професор, зав. каф. АКС Державного ВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ

**Тригуб Ирина Григорьевна** – асистент кафедры автоматизации производственных процессов НМетАУ, г. Днепропетровск

**Тронь Віталій Валерійович** – асистент каф. ІАСУ, Криворізький технічний університет

**Холод Елена Леонидовна** – ст. лаборант каф. программного обеспечения компьютерных систем Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск  
**Цоцко Лариса Ивановна** – старший преподаватель кафедры общей и структурной геологии Государственного ВУЗ «НГУ», г. Днепропетровск  
**Чоха Олексій Микитич** – к.т.н., доцент каф. економіки підприємства Державного ВНЗ «НГУ», м. Дніпропетровськ  
**Чуйко Олексій Сергійович** – магістр, Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", м. Харків  
**Шайдецька Любов Валентинівна** – ст. викладач Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»  
**Ширин Артем Леонидович** – аспірант каф. программного обеспечения компьютерных систем Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск  
**Якунин Евгений Александрович** – к.физ.-мат.н., доцент каф. физики Государственного ВУЗа «НГУ», г. Днепропетровск

## ЗМІСТ

1.	<b>П.Г. Пігулевський</b> Будова «граніто-гнейсового» шару земної кори південно-східної частини Українського щита.....	5
2.	<b>А.И. Каталенец, В.М. Кичурчак</b> Некоторые аспекты тектонического развития и металлогении Приазовского мегаблока Украинского щита .....	11
3.	<b>О.М. Чоха, Т.В. Герасименко</b> Основні проблеми державного інвестиційного розвитку геологорозвідувальних та гірничодобувних робіт в Україні .....	23
4.	<b>Е.С. Перков, С.Е. Поповченко</b> Влияние палеорельефа на формирование механических ореолов рассеивания хромитовой минерализации в Среднем Побужье.....	28
5.	<b>Л.И. Цоцко</b> Геолого-геммологические критерии оценки качества жильного кварца .....	38
6.	<b>А.В. Бубликов</b> Способ уменьшения удельных энергозатрат угольных комбайнов на тонких пластах .....	45
7.	<b>Н.В. Зуєвська, Л.В. Шайдецька, Ю.В. Волик</b> Несуча здатність лесових ґрунтів при утворенні зони ґрунтощебеню за допомогою енергії вибуху .....	51
8.	<b>Л.И. Мещеряков, А.Л. Ширин, Т.В. Бабенко, С.В. Самуся</b> Формирование принципов оперативного управления процессами транспортирования грузов напочвенными канатными дорогами в условиях неопределенности.....	57
9.	<b>М.А. Алексеев, Е.Л. Холод</b> Управление уровнем внутримельничной загрузки барабанных мельниц с применением показателя Херста акустического сигнала .....	63
10.	<b>Н.С. Дрешпак</b> Особливості теплового процесу індукційного нагріву з'єднань деталей машин .....	69
11.	<b>М.Д. Кошовий, О.М. Костенко, В.А. Дергачов, О.Л. Бурлєєв, О.С. Чуйко</b> Програмні засоби для оптимізації планів експерименту за часовими і вартісними витратами .....	76
12.	<b>Д.І. Кузнєцов, А.І. Купін</b> Прогнозування формування амплітудно-частотної характеристики електрообладнання від значення вхідної напруги .....	83
13.	<b>В.П. Радченко, В.И. Головки, И.Г. Тригуб</b> Компьютерная 3-х мерная модель загрузки шихты в доменную печь .....	86
14.	<b>Л.О. Бойчук</b> Узагальнення і структуризація даних для інформаційної системи при моделюванні перспективних геотермальних родовищ в умовах Прикарпаття.....	92
15.	<b>М.М. Демчина, В.Р. Процюк, В.І. Шекета</b> Моделювання нафтогазової предметної області на основі фреймово-продукційного підходу .....	98
16.	<b>М.Ю. Кузьменко, А.П. Егоров</b> Математическая модель системы управления тепловым агрегатом с типовыми промышленными регуляторами.....	106

17.	<b>В.Л. Соседка, Р.А. Мазур</b> Модифицированный метод моментов для идентификации параметров линейных непрерывных объектов .....	110
18.	<b>А.І. Купін, І.О. Музыка</b> Спосіб визначення параметрів запізнювання у технологічних процесах гірничого виробництва.....	116
19.	<b>Pistun Ye., Zahray V. and Fedoryshyn R.</b> Automation and optimization of solid material grinding by means of ball mills .....	122
20.	<b>П.С. Познанский</b> Модель системы управления очистным комплексом, основанная на сети Петри.....	127
21.	<b>В.В. Тронь</b> Обґрунтування методу адаптивного керування бункерним живленням комплексу паралельних технологічних ліній рудозбагачувальної фабрики.....	135
22.	<b>В.В. Ткачев, П.Ю. Огеенко, А.В. Лозовягин</b> Децентрализованные модели распределения ограниченного ресурса на базе технологии CAN-шины .....	141
23.	<b>А.В. Герасина</b> Комплексный метод идентификации нелинейных процессов крупного дробления и самоизмельчения руд .....	150
24.	<b>Л.В. Грязнова, А.Г. Лисняк</b> Сфероидизация перлита в стали при ударно-волновой обработке .....	157
25.	<b>В.М. Кравченко, В.А. Сидоров, В.В. Буцукин</b> Звуковая диагностика механизмов.....	162
26.	<b>О.А. Бойко</b> Исследование параметров теплообмена в подготовительной выработке с теплоуравнивающей оболочкой .....	169
27.	<b>Н.О. Непошивайленко, О.В. Зберовський, О.О. Карпенко, А.В. Галата, Т.К. Клименко</b> Комплексні дослідження стану докільця на території міста Дніпродзержинська з використанням ГІС-технологій.....	177
28.	<b>Ю.Ф. Коровин</b> Решение экологических и ресурсосберегающих проблем при производстве урана.....	183
29.	<b>Д.Л. Колосов</b> Визначення впливу деформування бобіни на розподіл сил розтягу тросів в канаті ступінчастої конструкції.....	189
30.	<b>В.В. Зберовский, А.В. Пазынич, Ю.Е. Поляков, А.А. Потапенко, А.А. Ангеловский</b> Модель предельного состояния угольного пласта при нагнетании жидкости.....	194
31.	<b>О.В. Інкін</b> Обґрунтування ефективності зберігання енергоносіїв у водоносних пластах Західного Донбасу .....	200
32.	<b>Е.А. Якунин</b> Моделирование структуры металлов, закаленных из жидкого состояния .....	209
33.	<b>С.Е. Блохин</b> Пути повышения тормозных возможностей шахтных локомотивов.....	214
34.	Відомості про авторів .....	219

**Збірник наукових праць  
Національного гірничого університету  
№ 36, том 1**

Підписано до друку . Формат 60x84/16.  
Ум. друк. арк. 11,2. Обл.-вид. арк. 11,2.  
Тираж 100 прим. Зам. №

Підготовлено до видання та видруковано  
у Державному ВНЗ «НГУ»  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру ДК №1842.

49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19