

НАУКОВИЙ  
ВІСНИК  
НАЦІОНАЛЬНОГО  
ГІРНИЧОГО  
УНІВЕРСИТЕТУ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

*ШАХТНЕ ТА ПІДЗЕМНЕ БУДІВНИЦТВО*  
*МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ*  
*РОЗРОБКА РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН*  
*АЕРОЛОГІЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ*  
*ГЕОЛОГІЯ*  
*ГІРНИЧА МЕХАНІКА ТА МАШИНИ*  
*ЕНЕРГЕТИКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ*  
*ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ*  
*ЕКОЛОГІЯ*  
*ЕКОНОМІКА*

**11** 2009

ДНІПРОПЕТРОВСЬК

# НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

Засновник та видавець

## НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

### РЕДАКЦІЯ:

*Головний редактор –*

Г.Г. Півняк

*Заступники головного редактора –*

О.С. Бешта, П.І. Пілов, О.М. Шашенко

*Відповідальний секретар –*

Л.С. Шломіна

### РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

А.Д. Алексеєв, І.В. Багрова, С.Є. Блохін,  
В.І. Бондаренко, А.Ф. Булат, Б.С. Бусигін,  
Б.В. Виноградов, О.С. Галушко, В.І. Голінько,  
А.І. Горова, С.С. Гребьонкін, Б.А. Грядущий,  
І.Л. Гуменик, Р.П. Дідик, М.О. Доброгорський,  
А.О. Задоя, Є.П. Захаров, М.О. Ільяшов,  
Г.О. Козлакова, Є.В. Кочура, Г.В. Кузнецов,  
О.М. Кузьменко, В.В. Лукінов, Л.В. Новикова,  
Ю.Є. Петруня, В.Ф. Приходченко, В.В. Приходько,  
В.Ю. Пушкін, В.В. Радченко, Т.Б. Решетілова,  
А.М. Роєнко, І.О. Садовенко, В.І. Саллі, В.О. Салов,  
В.І. Самуся, В.В. Слесарєв, М.С. Сургай,  
В.В. Ткачов, О.М. Туркенич, К.Ф. Тяпкін,  
В.П. Франчук, Ю.М. Халимендик, Ю.Т. Хоменко,  
Л.Н. Ширін, Ф.П. Шкрабець

### ЗАКОРДОННІ ЧЛЕНИ

#### РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

І.В. Дементьєв (Росія), Л. Вільке (Німеччина),  
А. Земба (Польща), Н. Іліас (Румунія),  
М.І. Кучерський (Узбекистан), Н. Мартенс (Німеччина),  
Гюнхан Пашамехметоглу (Туреччина),  
Л.А. Пучков (Росія), Я. Семек (Польща),  
В. Страхош (Чехія), М. Шмідт (Німеччина)

Верстка та редагування: С.П. Іванов

Журнал підписано до друку за рекомендацією вченої ради Національного гірничого університету  
(протокол № 8 від 24.11.2009 року)

Поштова адреса редакції:

49000, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, корпус 4, к. 49

Тел.: 8 (056) 3730702

e-mail: [HomenkoO@nmu.org.ua](mailto:HomenkoO@nmu.org.ua)

Журнал зареєстровано у Державному комітеті інформаційної політики, телебачення та радіомовлення України. Реєстраційний номер КВ № 6875 від 20.01.03.

Підписано до друку 25.11.09. Формат 30×42/2.

Ум. друк. арк. 10. Папір Ballet Universal.

Наклад 400 прим. Зам. № 300.

Віддруковано у Національному гірничому університеті.

49000, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.

УДК 622.261.27

А.В. Наумович, Р.Н. Терещук

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ВНЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Визначено та рекомендовано до використання три склади еквівалентних матеріалів. Наведено результати моделювання виробок, які закріплені рамно-анкерним кріпленням, на моделях з еквівалентних матеріалів. Визначено раціональні заходи з підтримки підготовчих виробок поза зоною впливу лави в стійкому стані.

Определены и рекомендованы к применению три состава эквивалентных материалов. Приведены результаты моделирования выработок, закрепленных рамно-анкерной крепью, на моделях из эквивалентных материалов. Определены рациональные мероприятия по поддержанию подготовительных выработок вне зоны влияния лавы в устойчивом состоянии.

Three compositions of equivalent materials are determined and recommended. Results of modeling of workings, fastened with arc and bolt support, made on the models of equivalent materials are given. Rational actions on keeping in sustainable state of development workings being out of a band of longwall influence are determined.

**Введение.** Горные выработки при подземном способе добычи полезных ископаемых должны сохранять в течение необходимого срока службы первоначальные или измененные в допустимых пределах размеры и форму своего поперечного сечения. Для сохранения выработки в рабочем состоянии приходится устанавливать горную крепь. Однако существующие виды крепи не всегда обеспечивают сохранность горных выработок. В результате смещения горных пород в сторону выработки крепь деформируется, ее сечение уменьшается, профиль откаточных путей искажается, в силу чего возникает необходимость в ремонтных работах, которые значительно влияют на ритмичную работу очистных и подготовительных забоев.

Основным видом крепи подготовительных выработок глубоких шахт является металлическая арочная податливая крепь из спецпрофиля. Ее объем составляет более 90% общего объема.

Однако на глубоких шахтах существующие арочные крепи не позволяют сохранять подготовительные выработки в эксплуатационном состоянии. Неудовлетворительное состояние выработок и связанные с этим затраты на перекрепление, главным образом, обусловлены несоответствием конструктивных параметров арочных крепей характеру и величине проявления горного давления.

Применяемые конструкции крепи при низкой несущей способности не влияют на геомеханические процессы, протекающие вокруг выработки, являясь, по сути, пассивной ограждающей конструкцией, функции которой сводятся к предохранению выработки от вывалов и высыпания разрушенных и отслоившихся от ненарушенного массива пород.

Поэтому успешное преодоление трудностей решения вопроса обеспечения устойчивости подготовительных горных выработок может быть при применении новых технологий прохождения выработок и использования более эффективных и металлосберегающих видов крепи, одной из которых является анкерная крепь. Как отмечается в работе [1], анкерная

крепь в сочетании с рамной позволяет уменьшить в 1,5...2 раза плотность установки рам.

**Цель работы** – определить характер поведения горного массива вокруг подготовительных выработок и рациональные параметры ее поддержания на моделях из эквивалентных материалов вне зоны влияния лавы для условий шахты “Шахтерская-Глубокая”.

**Материалы и результаты исследований.** С целью исследования устойчивости подготовительной выработки с рамно-анкерной крепью выполнено лабораторное моделирование с использованием эквивалентных материалов для условий 1-го западного конвейерного штрека УП ЦБ пласта  $h_8$  шахты “Шахтерская-Глубокая”.

Этот метод является одним из наиболее освоенных и широко применяемых исследовательских приемов, позволяющий получить достаточно полную качественную картину процессов, происходящих в горном массиве под воздействием внешних нагрузок. Методика проведения эксперимента достаточно подробно изложена в работах [2, 3], рекомендации которых использованы при выполнении настоящих исследований. Моделирование выполнено в лаборатории кафедры строительства и геомеханики НГУ.

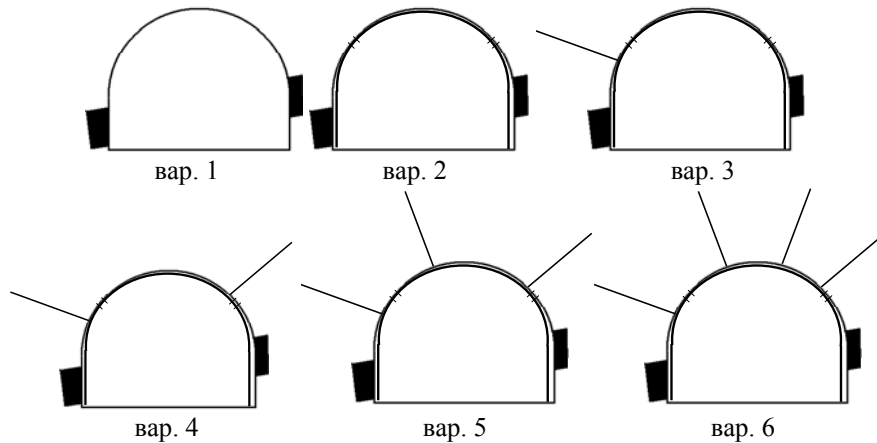
В качестве эквивалентного материала была принята песчано-парафино-графитовая смесь с добавлением технического вазелина. Такой состав наиболее полно отвечает физико-механическим характеристикам исследуемых пород в реальных условиях. При этом было испытано 15 различных составов эквивалентного материала. Для каждого состава было проведено 6 серий испытаний. Остановились на трех составах, наиболее полно воспроизводящих свойства пород шахты “Шахтерская-Глубокая”.

Работы по моделированию проводили на специальном стенде, представляющем собой плоскую камеру с прозрачной передней стенкой из оргстекла и систему рычажных домкратов. Масштаб моделирования принят 1:50. При испытаниях в камеру закаты-

вали разогретый эквивалентный материал. После его остывания под нагрузкой переднюю стенку снимали, наносили мерную сетку и производили “проходку” выработки. В выработке устанавливали рамную или рамно-анкерную крепь. Затем камеру закрывали оргстеклом и с помощью рычажных домкратов загружали моделируемый массив. Нагрузку, являющуюся показателем уровня напряжений в моделируемом материале, задавали с интервалом в 1 кг. Возникающие при этом деформации мерной сетки регистрировали на каждом этапе нагружения с помощью фотоаппарата, установленного в фиксированном положении на

время всего эксперимента. Качественную картину поведения массива строили на основании изучения измерения определенных квадратов мерной сетки на фотоснимке.

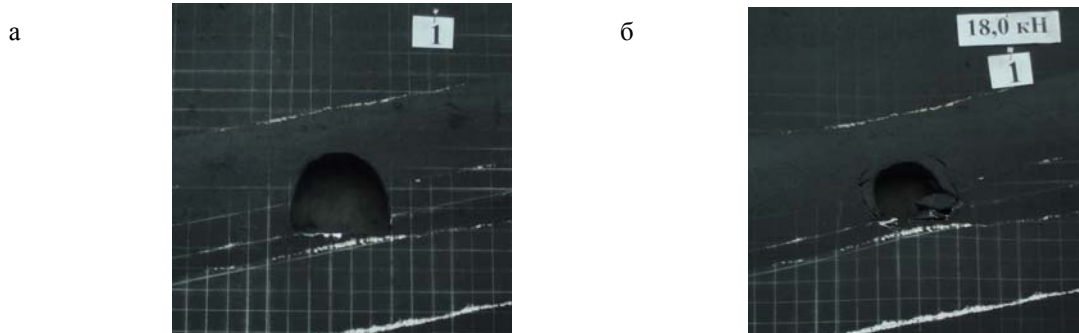
Для исследования определены 6 основных ситуаций размещения крепи в выработке (рис. 1): выработка без крепи (вар. 1), выработка с арочной крепью (вар. 2), выработка с арочной крепью + один анкер (вар. 3), выработка с арочной крепью + два анкера (вар. 4), выработка с арочной крепью + три анкера (вар. 5) и выработка с арочной крепью + четыре анкера (вар. 6). Длина анкеров 3 м.



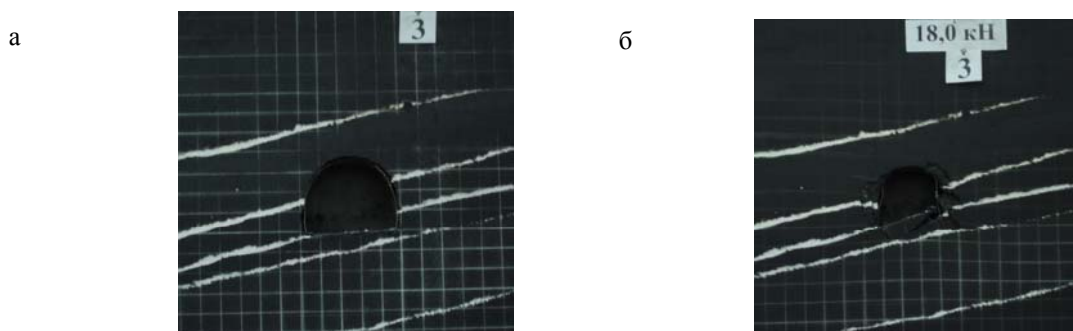
*Рис. 1. Схемы крепления выработки*

Во время выполнения моделирования в вариантах 3-6 изменялись места установки анкеров и углы наклона. С учетом отладки процесса моделирования

испытано более 50 моделей. Результаты исследований приведены на рис. 2-5.



*Рис. 2. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вариант 1)*



*Рис. 3. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вариант 2)*

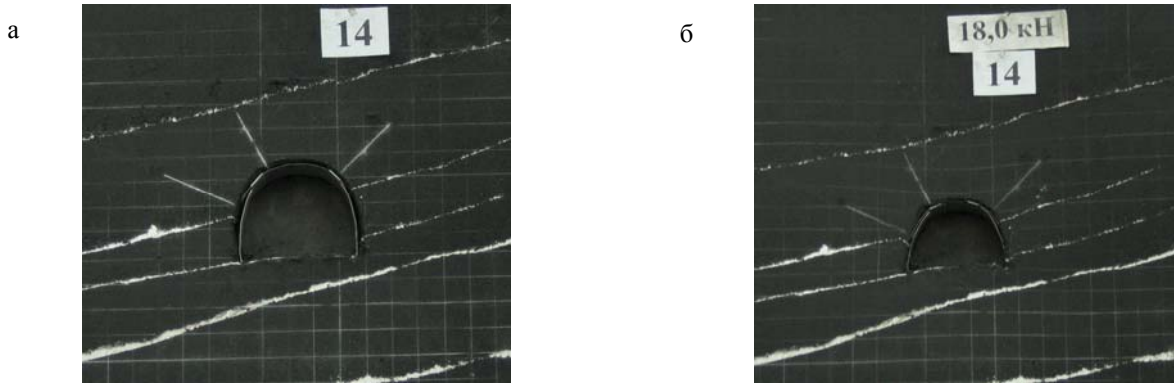


Рис. 4. Начало (а) и конец (б) нагружения модели (вариант 5)

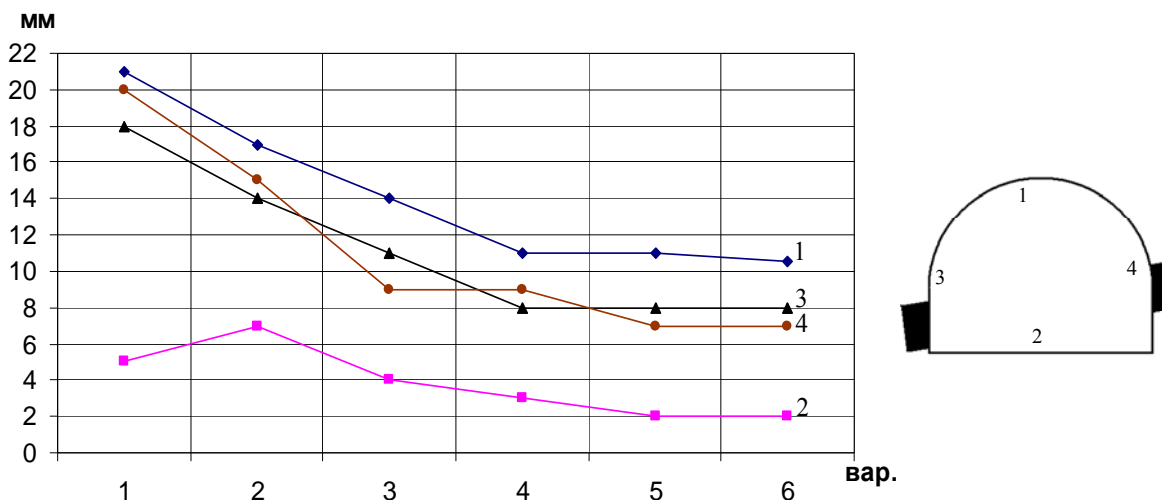


Рис. 5. Смещения кровли (1), почвы (2) и боков выработки (3, 4) при нагружении модели  $\gamma H$

Анализ результатов показывает следующее:

- трещины в боках и почве выработки появляются при нагружении модели до: незакрепленная выработка –  $0,33$  и  $0,75\gamma H$ , выработка с арочной крепью –  $0,55$  и  $0,8\gamma H$ , выработка с рамно-анкерной крепью (вар. 5) –  $0,8\gamma H$ , нарушения в почве не наблюдались;

- установка анкерной крепи (рис. 4) выполнялась в местах наибольших деформаций приконтурного массива (рис. 3, б);

- из рис. 5 видно, что увеличение количества анкеров (вар. 5 и 6) не приводит к значительному улучшению геомеханической ситуации вокруг подготовительной выработки, поэтому принят как наиболее рациональный способ поддержания подготовительной выработки в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая” вариант 5;

- использование рамно-анкерной крепи (вар. 5) по сравнению с рамной крепью (вар. 2) уменьшает смещения кровли – 35%, почвы – 70%, боков выработки 3-43 и 4-53% (рис. 5);

- параметры способа поддержания подготовительной выработки: арочная крепь; один анкер в боку 3 (рис. 4 и 5) на высоте 2 м от почвы под углом  $25...35^\circ$  к горизонтали; второй анкер в боку 4 (рис. 4 и 5) на высоте 3 м от почвы под углом  $40...50^\circ$  и тре-

тий в кровле со смещением от оси выработки в сторону падения на 0,5 м под углом  $10...20^\circ$  к вертикали.

**Выводы.** Результаты лабораторных исследований показали высокую эффективность применения рамно-анкерной крепи в условиях шахты “Шахтерская-Глубокая”. Определены рациональные параметры крепления подготовительной выработки вне зоны влияния очистных работ. Дальнейшие исследования будут направлены на определение параметров крепления подготовительных выработок в зоне влияния лавы.

### Список литературы

1. Заславский Ю.З., Дружко Е.Б. Новые виды крепи горных выработок. – М.: Недра, 1989. – 256 с.
2. Кузнецов Н.Г. Экспериментальные методы исследования вопросов горного давления // Тр. совещания по управлению горным давлением. – М.: Углетехиздат, 1948. – С. 9-149.
3. Шашенко А.Н. Устойчивость подземных выработок в неоднородном породном массиве: Дис... д-ра техн. наук: 05.15.04. – Днепропетровск, 1988. – 507 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком 03.09.09

## **ОСОБЛИВОСТІ ТВЕРДОФАЗНОГО ТА РІДКОФАЗНОГО СПІКАННЯ АЛМАЗОВІСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОРОДОРУЙНІВНИХ ІНСТРУМЕНТІВ**

Досліджено специфічні особливості твердофазного та рідкофазного спікання алмазовмісних матеріалів у різнних системах. Доведено, що піки, які спостерігаються на кривих швидкості усадки, свідчать про зміну механізмів масопереносу і структурно-фазові перетворення, які мають місце в досліджуваних системах. Показано, що присутність рідкої фази прискорює процес, а також сприяє дифузії та хімічним процесам між елементами.

Исследованы специфические особенности твердофазного и жидкофазного спекания алмазосодержащих материалов в разных системах. Доказано, что пики, которые наблюдаются на кривых скорости усадки, свидетельствуют об изменении механизмов массопереноса и структурно-фазовых превращениях, которые имеют место в исследованных системах. Показано, что присутствие жидкой фазы ускоряет процесс, а также способствует диффузии и химическим процессам между элементами.

Particular features solid phase and liquid phase sintering of diamond-bearing materials in different systems are investigated. It is proved, that spikes which one are observed on curves of speed of liquid shrinkage, testify to variation of dodges mass transfer and structurally-phase transformations which one occur in the investigated systems. It is demonstrated, that fluid phase presence speeds up process, and also promotes diffusion and chemical processes between members.

**Вступ.** Забезпечення довговічності, міцності і надійності алмазних породоруйнівних інструментів, що працюють в екстремальних умовах, досягається в першу чергу вивченням процесів, явищ та ефектів, які спричиняють поліпшення структури та підвищення рівня механічних властивостей композиційних алмазовмісних матеріалів (КАМ). КАМ – складні об'єкти для дослідження через різноманітність та велику кількість фізико-механічних властивостей алмазів і порошків металів та неметалів, дифузійні процеси і хімічні реакції між вхідними елементами, які супроводжуються утворенням нових фаз та твердих розчинів, широкий спектр точкових дефектів та ін. [1].

У [2-4] виявлено, що залежності швидкості усадки в алмазовмісних системах на основі порошків заліза, міді, нікелю та олова в умовах гарячого пресування мають стрибкоподібний характер, а відхилення від лінійності, що спостерігаються на цих залежностях, як раз і вказують на структурно-фазові перетворення та зміну механізму масопереносу, які відбуваються внаслідок взаємодії між вхідними елементами. В цих самих роботах було показано, що введення дибориду хрому до складу вихідної суміші і підвищення концентрації алмазів в певній кількості, а також оптимізація технологічних режимів гарячого пресування призводить до поліпшення структури та підвищення рівня механічних властивостей КАМ. Однак механізм вдосконалення структури з одночасним підвищенням механічних властивостей КАМ ще до цієї пори залишається нез'ясовним. Ці обставини не дають можливості отримати КАМ із наперед заданими фізико-механічними властивостями та впливати на них в процесі спікання тим чи іншим методом.

Стан цієї проблеми диктує необхідність ретельного вивчення кінетики усадки в алмазовмісних систе-

мах не тільки в умовах рідкофазного, а й твердофазного спікання, розшифрування фізичного змісту отриманих результатів та з'ясування механізму вдосконалення структури КАМ.

Метою даної роботи є дослідження специфічних особливостей твердо- та рідкофазного спікання полідисперсних систем, склад яких виходить за рамки [2-4], які можуть бути використані для прогнозування фізико-механічних властивостей КАМ і розробки породоруйнівних інструментів з необхідними функціями щодо практичного застосування.

**Матеріали і методи дослідження.** Досліджували кінетику усадки в полідисперсних системах в умовах твердофазного спікання (спікання в твердій фазі), так і в присутності рідкої фази (рідкофазне спікання).

Як вихідні речовини для виготовлення зразків використовували порошки алмаза каталітичного синтезу марки АС 160Т зернистістю 400/315 (Інститут надтвердих матеріалів ім. В.М. Бакуля НАН України), міді ПМС (ГОСТ 4960-75), заліза ПЖ1М2 (ГОСТ 9849-74), нікелю ПНЭ-1 (ГОСТ 9722-79), олова (ГОСТ 9723-79), дибориду хрому (CrB<sub>2</sub>) із вмістом 70,62% хрому та 29,30% бору (Донецький завод хімічних реактивів), карбиду вольфраму (WC) із вмістом 93,5% вольфраму та 5,9% вуглецю (ТУ 6-09-03-360-78) і кобальту ПК-1у (ГОСТ 97-97). Порошки металів, карбиду вольфраму і дибориду хрому піддавали механічному обробленню в барабанному млині з використанням розмельних куль із високощільної алюмооксидної кераміки в режимі сухого млива. Швидкість обертання млина становила 200 об/хв, що забезпечувало ударно-зсувну дію куль на порошки. Співвідношення маси куль і порошків

становило 5:1, тривалість обертання – 10 год. Розміри отриманих порошків не перевищували 5 мкм. Порошки в потрібній кількості змішували у спиртовому середовищі за схемою, наведеною в таблиці. Алмазовмісні суміші для спікання досліджуваних зразків отримали шляхом додавання

алмазів в кількості 4,4 каратів на один зразок (що відповідає відносній концентрації алмазів в композиті  $K = 100$ ) до порошкових сумішей та змішували їх до потрібної якості з використанням гліцерину. При цьому наважки порошкових сумішей зменшували на величину маси алмазів.

Таблиця

Склад вихідних сумішей

Номер зразка	Склад, % (за масою)							Тип спікання
	Fe	Ni	Cu	Sn	CrB2	WC	Co	
1	70,0	18,0	12,0	-	-	-	-	Твердофазне спікання
2	67,2	17,28	11,52	-	4,0	-	-	
3	25,0	10,0	10,0	-	-	30,0	25,0	
4	24,0	9,6	9,6	-	4,0	28,8	24,0	
5	-	-	12,0	8,0	-	-	80,0	Рідкофазне спікання
6	-	-	11,52	7,68	4,0	-	76,86	
7	60,0	30,0	6,0	4,0	-	-	-	
8	57,6	28,8	5,76	3,84	4,0	-	-	
9	80,0	10,0	6,0	4,0	-	-	-	
10	78,4	9,8	5,88	3,92	2,0	-	-	

Зразки одержали в такий спосіб. Наважки алмазовмісних сумішей масою 5,537 г (зразок 1), 5,270 г (зразок 2), 6,933 г (зразок 3), 6,811 г (зразок 4), 5,683 г (зразок 5), 5,606 г (зразок 6), 5,363 г (зразок 7), 5,298 г (зразок 8), 5,224 г (зразок 9), 5,196 г (зразок 10) закладали в жаростійкі форми і при кімнатній температурі та тиску 100 МПа отримали відповідні брикети. Далі ці брикети піддавали вільному спіканню в муфельній печі SNOL 72/100 при температурі 860 °C протягом однієї години і наступному гарячому пресуванню на гідравлічному пресі ППР 400 10Т при тиску 160 МПа протягом 180 с з одночасним записуванням лінійної усадки  $l$ .

Усадку  $l$  при гарячому пресуванні записували за допомогою електронного індикатора DIGICO 10 (TESA, Швейцарія) з цифровим відліком при кроці дискретності 0,001 мм. При вимірюванні лінійної усадки для кожного зразка виконували не менше чотирьох випробувань. За результатами випробувань визначали математичні характеристики: математичне сподівання  $E$ , величини лінійної усадки  $l_j$ , середнє квадратичне відхилення  $\sigma = \sqrt{1/m_i \sum_{j=1}^{m_i} (E - l_j)^2}$ , варіаційний коефіцієнт  $v = (\sigma/E)100\%$ , середня похибка варіаційного коефіцієнта  $\sigma_v = \sqrt{0,5v/100m_j}$ , середня похибка середнього відхилення  $\delta = (\sigma_v/\sqrt{m_i})100\%$ , де  $m_i$  – кількість випробувань. Для обробки прийма-

лись ті дані середньоарифметичних значень величини лінійної усадки  $l$ , для яких значення  $\delta \leq 2\%$ . За експериментальними даними лінійної усадки  $l$  розраховували швидкість відносної усадки  $da/dt$ .

**Результати дослідження та їх обговорення.** Аналіз твердофазного спікання. Процес твердофазного спікання КАМ на основі порошків заліза, міді, нікелю, кобальту, карбїду вольфраму і дибориду хрому вивчено недостатньо. Це пов'язано із тим, що при спіканні під тиском в таких системах протікає ряд складних процесів: пластична чи в'язка плинність, дифузія і взаємодія елементів, хімічні реакції, які супроводжуються газоутворенням та структурними перетвореннями, зміною механізмів масопереносу, а також взаємодією частинок алмазу з вихідними елементами. В таких КАМ утворюються сполуки із двох, трьох і більше елементів, яких не було в бінарних системах, а також тверді розчини. Через ці обставини алмазовмісні системи неможливо розглянути за допомогою геометричних схем (діаграм стану).

Застосована методика дала можливість отримати інформацію про кінетику усадки в КАМ, отриманих на основі досліджуваних сумішей спіканням в муфельній печі з наступним гарячим пресуванням.

Виявлено, що на стадії вільного спікання зразка 1 в муфельній печі при температурі 800 °C протягом однієї години, який підлягав холодному пресуванню під тиском 100 МПа, усадки не було. В системі спостерігалось навіть деяке розширення, тобто висота отриманого зразка перевищила висоту брикету. Це

пов'язано із тим, що в системі алмаз–70%Fe–18%Ni–12%Cu за даних умов утворилися фази і тверді розчини, які супроводжуються розширенням. Так, зокрема, в [5] відзначено, що в системі Fe–Ni в діапазоні температури 600-670 °C внаслідок взаємодифузії, тобто дифузія заліза в нікелі і дифузія нікелю в залізі, утворюється твердий розчин, який супроводжується розширенням. Крім цього, відомо [6], що в системі Fe–Ni за температури 400 °C утворюються  $\alpha$ - і  $\gamma$ - фази, а за температури 505 °C утворюється ще і сполуки FeNi<sub>3</sub>, які теж супроводжуються розширенням. В системі Ni–Cu, компоненти якої є складовими зразка 1, в інтервалі температури 400-500 °C утворюється сполука CuNi [6], в системі C–Fe в діапазоні температури 463-1115 °C утворюється карбід Fe<sub>3</sub>C [7]. Слід відзначити, що утворення карбідів в металевій зоні навколо частинок алмаза призводить до поліпшення структури з одночасним підвищенням рівня механічних властивостей [8]. Ці обставини однозначно пояснюють причини розширення даної системи при спіканні в муфельній печі.

Що стосується процесу гарячого пресування даного зразка на відміну від процесу вільного спікання, то слід відзначити, що прикладений тиск не тільки ущільнює складові композиту, а й зменшує об'єм елементарної комірки вихідних елементів. В цьому випадку відстань між реакційними центрами і дов-

жина вільного пробігу стають меншими, що прискорює швидкість процесів, які відбуваються, змінює механізми масопереносу та впливає на структуру і фізико-механічні властивості КАМ.

Видно (рис. 1 – крива 1), що прикладений тиск 160 МПа при гарячому пресуванні зразка 1 на відміну від спікання в муфельній печі призводить до інтенсивної усадки. Так, в моменти часу від 0 до 23 с (перша стадія) маємо лінійне зростання усадки від 0 до 4,5 мм. Далі на інтервалі процесу від 23 до 60 с (друга стадія) усадка зростає від 4,5 до 5,7 мм нелінійно. На заключному етапі процесу (60-180 с) усадка, досягаючи максимальних значень, змінюється незначно. Тим не менш на даному етапі в моменти часу 65 і 117 с на кривій швидкості усадки спостерігаються слабкі піки (відхилення від лінійності). Отже, отримані дані дозволяють стверджувати, що механізм масопереносу в умовах гарячого пресування цього зразка змінюється і він має складний характер. Це означає, що взаємодія між вихідними елементами на різних інтервалах процесу відбувається по-різному. Очевидно, що ця взаємодія спричиняє структурно-фазові перетворення в даних інтервалах. Слід також відзначити, що взаємодія між елементами може мати як фізичну, так і суто хімічну природу і, як наслідок, по-різному впливати на структуру і фізико-механічні властивості композиту.

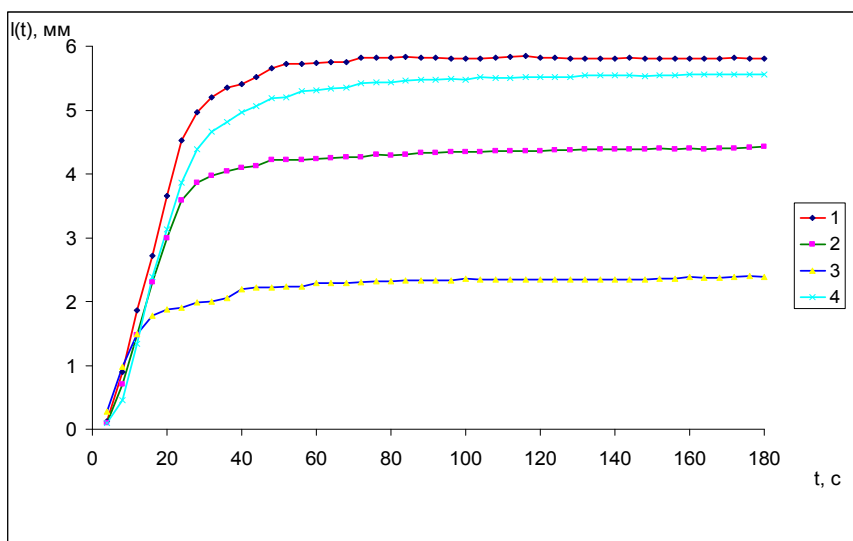


Рис. 1. Залежності лінійної усадки від часу при гарячому пресуванні в твердій фазі зразків 1-4, отриманих на основі сумішей: 1 – 70%Fe–18%Ni–12%Cu (зразок 1); 2 – 67,2%Fe–17,28%Ni–11,52%Cu–4%CrB<sub>2</sub> (зразок 2); 3 – 25%Fe–10%Ni–10%Cu–30%WC–25%Co (зразок 3); 4 – 24%Fe–9,6%Ni–9,6%Cu–28,8%WC–24%Co–4%CrB<sub>2</sub> (зразок 4). T = 860 °C, p = 160 МПа

Введення дибориду хрому в кількості 4% (за масою) до складу вихідної суміші (зразок 2) призвело до зменшення усадки (рис. 1 – крива 2). Так, на першій стадії усадка для зразка 2 лінійно зростає від 0 до 3,6 мм. На другій стадії усадка зростає від 3,6 до 4,2 мм, на заключному етапі усадка майже не змінюється. Зменшення усадки в даному випадку пов'язано з тим, що

диборид хрому досить тугоплавка сполука, механічні властивості якої (мікротвердість, термостійкість, модулі пружності, стійкість проти окислення) значно перевищують аналогічні властивості порошків металів. Це є основною причиною ускладнення вихідної суміші до пресування і тому в даному випадку маємо зменшення усадки.



При гарячому пресуванні зразка 3, отриманого на основі суміші алмаз-25%Fe-10%Ni-10%Cu-30%WC-25%Co, на відміну від зразків 1 і 2, спостерігається суттєве зменшення усадки. Так, на початковому етапі процесу абсолютна усадка становить майже 1,9 мм, (рис. 1 – крива 3). При подальшому збільшенні тривалості гарячого пресування усадка змінюється несуттєво. Характерною особливістю цієї залежності є й те, що на середньому етапі, на відміну від зразків 1 і 2, спостерігаються більш помітні відхилення від лінійності. Це свідчить про те, що в цьому випадку механізм масопереносу змінюється сильніше внаслідок більшої активності між елементами в даній системі.

Введення дибориду хрому в кількості 4% (за масою) до складу вихідної суміші зразка 3 призводить до інтенсивної усадки. Так, зокрема, значення усадки при гарячому пресуванні зразка 4 у 2,5 рази перевищують відповідні значення для зразка 3 (рис. 1 – криві 4 і 3). Таке суттєве зростання усадки свідчить про те, що в цьому випадку в даній системі відбувається сильна активація процесу спікання, тобто диборид хрому активно взаємодіє з елементами вихідної суміші, скоріше усього, з частинками карбіду вольфраму і кобальту. Тому в цьому випадку відбувається сильна усадка, що дає підставу стверджувати про вдосконалення структури та підвищення рівня механічних властивостей в зразку 4. Отримані результати підтверджуються експериментальними даними роботи [8]. В цій роботі було встановлено, що введення дибориду хрому до складу суміші алмаз-94%WC-6%Co призводить до утворення особливої структури прошарку навколо частинок алмазу, підвищення мікротвердості від 13,0 до 23,8 ГПа та зносостійкості до 2 разів. При цьому в структурі зразка, що містить до-

бавку дибориду хрому виявлено карбіди складу  $(Cr, W)_x C_y$  (де  $x, y > 1$ ), які запобігають утворенню сегрегацій вільного вуглецю. В цьому випадку відбуваються ще й структурні перетворення у розчині Co-C-W-Cr, що сприяє формуванню дрібнозернистої структури у перехідному прошарку навколо частинок алмазу, а також розчинності вольфраму у кобальті. У зв'язку із цим зупинимося дещо детальніше на аналізі залежності швидкості відносної усадки для цих зразків.

Видно (рис. 2, а – крива 1), що крива швидкості усадки для зразка 1 змінюється по-різному. На першій стадії процесу на інтервалі часу 0-8 с спостерігається різке зростання швидкості усадки, а далі її поступове згасання і зменшення. Фізичний зміст отриманої залежності пояснюється тим, що складові елементи системи внаслідок різкого зростання тиску від 0 до 160 МПа рухаються із прискоренням, тому усадка відбувається зі зростаючою швидкістю, тобто система ущільнюється досить швидко. Після стабілізації тиску на інтервалі 8-12 с швидкість усадки починає згасати і зменшуватися. При цьому в момент часу  $\sim 18$  с швидкість усадки набуває найменшого значення. На середньому етапі процесу в інтервалі часу 20-28 с спостерігається різке зменшення швидкості усадки від 0,016 до 0,004 с<sup>-1</sup>. Крім цього в моменти часу 40 і 50 с на кривій швидкості усадки спостерігаються піки. На заключному етапі процесу швидкість усадки набуває найменших значень, але тут спостерігається велика кількість слабких піків, які свідчать про те, що в системі має місце взаємодія між елементами, лише на інтервалі 140-180 с швидкість усадки не змінюється.

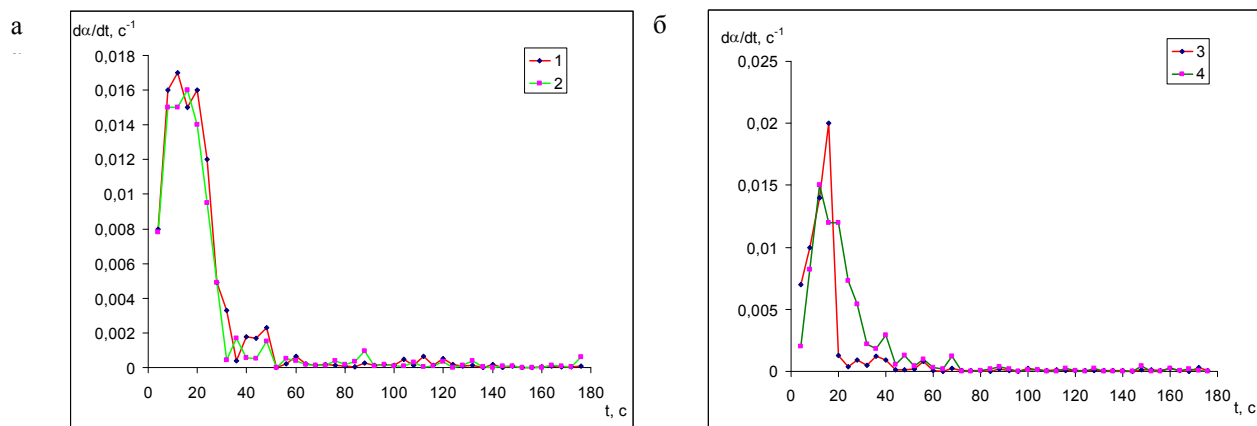


Рис. 2. Залежності швидкості відносної усадки при гарячому пресуванні в твердій фазі зразків 1,2 (а) і 3,4 (б) в тих самих умовах, що й на рис. 1

Таким чином, отримані результати показують, що при твердофазному спіканні зразка 1 з використанням гарячого пресування відбувається багата стадійне ущільнення. Це означає, що в умовах гарячого пресування цього зразка частинки заліза, нікелю і міді, контактуючи між собою, спричиняє фазові перетворення, які впливають на структуру і властивості компо-

зиту. Зміна швидкості усадки свідчить про переходи структури композиту з одного рівня на інший, який в свою чергу залежить від складу вихідних речовин.

Присутність дибориду хрому в кількості 4% (за масою) у складі вихідної суміші впливає на швидкість усадки при гарячому пресуванні зразка 2 (рис. 2, а – крива 2). Характерною особливістю отри-

маної залежності є те, що слабкі піки, що спостерігаються на заключному етапі процесу зсунуті в бік меншого часу. Це означає, що диборид хрому активує процес, тобто активно взаємодіє на цьому етапі з іншими елементами, що позитивно відображується на формуванні структури та властивостей даного композиту. Стабільні значення швидкості усадки при подальшому збільшенні тривалості процесу вказує, що система перейшла до стабільного стану, де механізм масопереносу вже не змінюється.

При гарячому пресуванні зразка 3, отриманого на основі суміші алмаз-25%Fe-10%Ni-10%Cu-30%WC-25%Co, загальний характер швидкості усадки помітно відрізняється від аналогічної залежності для зразків 1 і 2 (рис. 2, б – крива 3 і рис. 2, а – криві 1 і 2). Так значення швидкості усадки для цього зразка на початковому етапі процесу дещо більші, ніж швидкість усадки для зразків 1 і 2, а слабкі піки на другому етапі процесу зсунуті в бік меншого часу. На заключному етапі швидкість усадки має дещо менші значення. Це означає, що інтенсивність взаємодії між вихідними елементами в цьому випадку спадає. Збільшення значень швидкості усадки на середньому інтервалі гарячого пресування зразка 4 (рис. 2, б – крива 3) вказує на те, що введення дибориду хрому до складу вихідної суміші збільшує активність взаємодії. Це дає підставу стверджувати, що в цьому випадку в системі відбувається поліпшення структури з одночасним підвищенням рівня механічних власти-

востей композиту, що було підтверджено експериментальними даними [8].

Отже, залежності усадки і її швидкості при гарячому пресуванні зразків 1-4 відображає процеси, що відбуваються. Ці процеси залежать як від складу вихідних речовин, так і від тривалості процесу. Відзначимо, що процес гарячого пресування КАМ в присутності рідкої фази може не тільки змінити кінетику усадки, а й структуру та властивості композиту.

*Аналіз рідкофазного спікання.* Залежність усадки від тривалості гарячого пресування для зразка 5, отриманого на основі суміші алмаз-80%Co-12%Cu-8%Sn, наведено на рис. 3 (крива 5). Її аналіз показує, що на інтервалі процесу 0-42 с маємо лінійне зростання усадки від 0 до 8,5 мм. У той час, як на першій стадії процесу абсолютне значення усадки для зразка 1 становить 4,5 мм. Тривалість першої стадії для зразка 5 складає 42 с, а для зразка 1 – 23 с. На другій стадії процесу (42-60 с) усадка зростає від 8,5 до 9,1 мм нелінійно. На заключній стадії при подальшому збільшенні часу усадка продовжує зростати від 9,1 до 9,4 мм. Отримані дані показують, що усадка при гарячому пресуванні КАМ суттєво залежить від присутності рідкої фази. В цьому випадку евтектична рідина в системі Cu-Sn частково розчиняє тверду фазу (частинки кобальту та міді), що спричиняє додаткову усадку. В системі починають відбуватися як дифузійні, так і суто хімічні процеси, які змінюють не тільки кінетику спікання, а й структуру та властивості композиту.

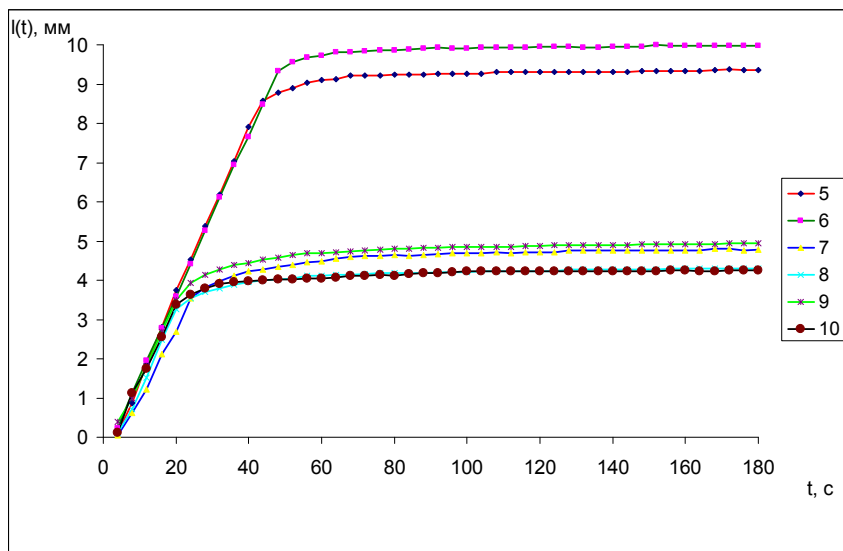


Рис. 3. Залежності лінійної усадки від часу при гарячому пресуванні в присутності рідкої фази зразків 5-10, отриманих на основі сумішей: 5 – 80%Co-12%Cu-8%Sn (зразок 5); 6 – 76,86%Co-11,52%Cu-7,68%Sn 4%CrB2 (зразок 6); 7 – 60%Fe-30%Ni-6%Cu-4%CrB2 (зразок 7); 8 – 57,6%Fe-28,8%Ni-5,76%Cu-3,84%Sn-4%CrB2 (зразок 8); 9 – 80%Fe-10%Ni-6%Cu-4%Sn- (зразок 9); 10 – 78,4%Fe-9,8%Ni-5,88%Cu-3,92%Sn-2%CrB2 (зразок 10).  $T = 860 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p = 160 \text{ МПа}$

Усадка для зразка 6 порівняно зі зразком 5 має дещо більші значення (рис. 3 – криві 6 і 5). Це означає, в цьому випадку введення дибориду хрому в кількості 4% (за масою) до складу вихідних речовин призводить до активації процесу гарячого

пресування. Згідно з [6] у системі Co-Cu при температурі 840 °C має місце перетворення  $\alpha \rightarrow \epsilon'$ , а в системі Co-Sn за температурою 550 °C утворюється сполука CoSn. В системі алмаз-76,86%Co-11,52%Cu-7,68%Sn-4%CrB2, крім цих процесів, має

місце взаєморозчинення елементів, тобто роль хімічних процесів у цій системі зростає. Внаслідок дії тиску 160 МПа плівка рідкої фази між контактуючими частинками кобальту, міді, дибориду хрому та алмазу стискається, що спричиняє додаткове розчинення твердої фази у рідкій. В цьому випадку змінюється ще й форма самих частинок і зменшується залишкова пористість.

При гарячому пресуванні зразків 7 і 8, отриманих на основі сумішей алмаз–60%Fe–30%Ni–6%Cu–4%Sn і алмаз–57,6%Fe–28,8Ni–5,76%Cu–3,84%Sn–4%CrB<sub>2</sub>, усадка має значно менші значення (рис. 3 – криві 7 і 8), ніж для зразків 5 і 6. Це пов'язано із тим, що здатність до пресування цих сумішей погіршується із-за великої кількості твердої фази. Загальний вигляд залежностей усадки для зразків 9 і 10 майже не відрізняється від аналогічних залежностей зразків 7 і 8. Ця обставина пояснюється тим, що склад вихідних елементів для цих зразків схожий. Проаналізуємо кінетику усадки для цих зразків.

Аналіз рис. 4, а і 2 показує, що загальний характер швидкості усадки для зразків 5 і 6 істотно відрізняється від аналогічних кривих для зразків 1-4. Так, на залежностях швидкості усадки для зразків 5 і 6 (рис. 4, а) на першому та другому етапах процесу спостерігається більша кількість великих піків, ніж на залежностях швидкості усадки для зразків 1-4 (рис. 2, а, б). Отримані результати свідчать про те, що механізм масопереносу в першому випадку більш складний. Це пов'язано з тим, що взаємодія між вихідними елементами в даних системах відбувається по-різному, яка в свою чергу залежить від властивостей кристалічної решітки. Тому швидкість усадки, структурно-фазові перетворення і механізм масопереносу в цих системах змінюються частіше. На ключовому етапі швидкість усадки для зразків 5 і 6 згасає внаслідок зменшення активності взаємодії між вихідними елементами. Проте присутність більшої кількості слабких піків на кривих швидкості усадки ще раз вказує на дифузійні чи суто хімічні процеси, які мають місце в даному випадку.

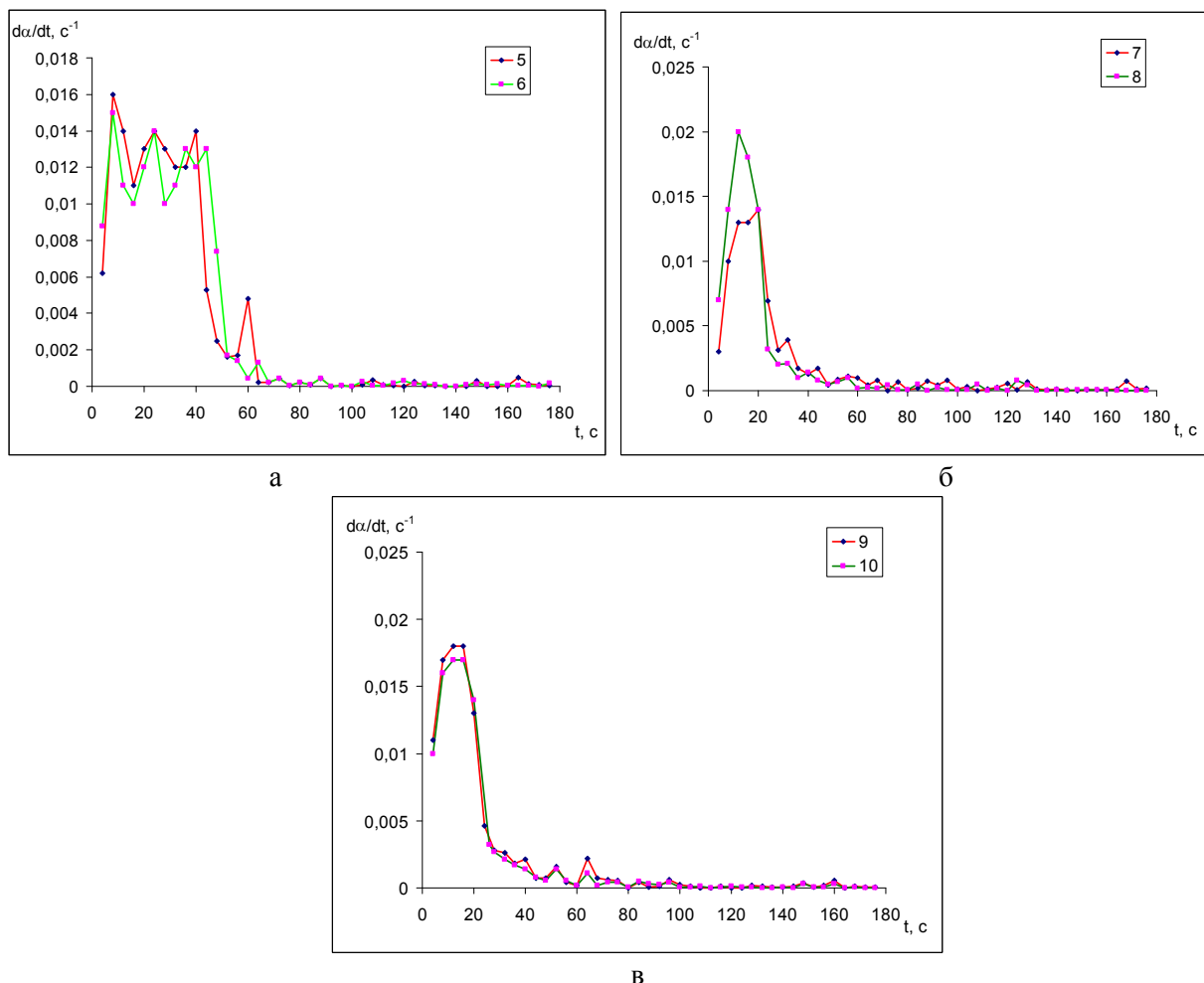


Рис. 4. Залежності швидкості відносної усадки при гарячому пресуванні в присутності рідкої фази зразків 5, 6 (а), 7, 8 (б) і 9, 10 (в), отриманих в тих самих умовах, що й на рис. 3

Продовжуючи аналізувати кінетику усадки при гарячому пресуванні досліджуваних зразків, звернемо увагу на такі факти. По-перше, загальний харак-

тер залежностей швидкості усадки для зразків 7-10 відрізняється від аналогічних залежностей для зразків 5 і 6 (рис. 4 і 3). По-друге, значення швидкості

усадки для цих зразків теж відрізняється. По-третє, тривалість того чи іншого етапу процесу також відрізняється. По-четверте, кількість як сильних, так і слабких піків на залежностях швидкості усадки різна. По-п'яте, ці піки залежно від складу вихідної суміші змінюються як у бік малого, так і великого часу. Всі ці відміни свідчать про те, що швидкість усадки залежить від складу вихідних елементів і властивостей кристалічної решітки елементів. Слід відзначити, що надлишкова енергія в процесі гарячого пресування тієї чи іншої системи в будь-який момент часу може змусити атомами залишити кристалічні решітки елементів і спричинити таким чином нову взаємодію, нові ефекти та явища, які в свою чергу змінюють структуру та фізико-механічні властивості КАМ. Ці факти також пов'язані зі зміною коефіцієнтів дифузії як у фазах, так і на границях фаз і, як наслідок, механізмів масопереносу.

### Висновки

Досліджені кінетичні особливості твердофазного та рідкофазного спікання алмазовмісних матеріалів для породоруйнівних інструментів в різних системах. Показано, що присутність рідкої фази призводить до збільшення усадки та прискорює процес гарячого пресування алмазовмісних матеріалів, а також сприяє дифузії і хімічним процесам між вихідними елементами.

Досліджено вплив дибориду хрому на кінетику усадки при гарячому пресуванні алмазовмісних матеріалів, а також виявлено основні параметри системи, які суттєво впливають на кінетику даного процесу.

Встановлено, що положення максимумів на кривих швидкості усадки в залежності від складу вихідних речовин зміщується в напрямку як більшого, так і меншого часу. Доведено, що ці максимуми свідчать про зміну механізмів масопереносу і структурно-фазові перетворення, які мають місце в досліджуваних системах.

Отримані дані про кінетику усадки при гарячому пресуванні можуть бути корисними для моделювання

процесів, які відрізняються, та розробки технології алмазовмісних матеріалів із наперед заданими властивостями.

### Список літератури

1. Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Основы создания алмазосодержащих композиционных материалов для породоразрушающих инструментов / Под ред. Н.В. Новикова. – К.: Ин-т сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 456 с.
2. Бондаренко М.О., Мечник В.А., Супрун М.В. Дослідження усадки та її швидкості при спіканні системи алмаз–Fe–Cu–Ni–Sn з добавкою CrB<sub>2</sub> // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 8. – С. 54-57.
3. Бондаренко М.О., Мечник В.А., Супрун М.В. Кінетика усадки в системах алмаз–Fe–Cu–Ni–Sn–CrB<sub>2</sub> в умовах гарячого пресування // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 9. – С. 7-11.
4. Ущільнення алмазовмісних систем із взаємодіючими компонентами для породоруйнівних інструментів / Бондаренко М.О., Мечник В.А., Супрун М.В., Панов О.В. // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 10. – С. 16-20.
5. Свойства элементов. В 2 ч. Ч. 1. Физические свойства: Справочник. – М.: Металлургия, 1976. – 600 с.
6. Структура двойных сплавов в 2 т. / М. Хансен, К. Андерко; под ред. И.Л. Рогельберга. – М.: Цветная металлургия, 1962. – Т. 2. – 622 с.
7. Самсонов Г.В., Упадхья Г.Ш., Нешпор В.С. Физическое материаловедение карбидов. – К.: Наук. думка, 1974. – 455 с.
8. Структурные особенности сверхтвердых композитов системы алмаз – твердый сплав ВК6, отличающихся износостойкостью / Новиков Н.В., Бондаренко Н.А., Мечник В.А. и др. // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 6. – С. 3-15.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. В.В. Соболевим 15.09.09*

УДК 622.28:622.831

И.А. Ковалевская

## МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ МЕТОДА РАСЧЕТА ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОНТУРА РАМНОЙ КРЕПИ ПЛАСТОВОЙ ВЫРАБОТКИ

Викладено методологічні принципи комп'ютерного моделювання геомеханічних процесів навколо пластової виробки при розробці методу розрахунку переміщень контуру рамного кріплення.

Изложены методологические принципы компьютерного моделирования геомеханических процессов вокруг пластовой выработки при разработке метода расчета перемещений контура рамной крепи.

Methodological principles computer modelling of geomechanical processes around layer developments are stated by working out of a method of calculation of movings of a contour frame support.

Проблема прогнозирования проявлений горного давления в подземных выработках имеет уже вековую историю и по-прежнему не потеряла своей актуальности, что подтверждается многочисленными современными исследованиями геомеханических процессов в окрестности выработок. Такой интерес к данной проблеме обусловлен, прежде всего, нуждами горнодобывающей отрасли, поскольку устойчивость сети подземных выработок предопределяет эффективность функционирования шахты в целом. Не ослабевающий научный интерес поддерживается постоянным развитием геомеханических моделей взаимодействия породного массива с крепью горной выработки в плане более полного и достоверного учета гаммы физико-механических свойств массива, его структуры, конструктивных особенностей крепи и режимов ее работы.

Принципиально новый качественный уровень современных геомеханических исследований сформировали два основных фактора: развитие компьютерной техники с соответствующим программным обеспечением и создание достаточно обширной базы данных механических свойств горных пород как в допредельном, так и в запредельном состояниях, с учетом реологии поведения массива и ослабляющих воздействий геологического и техногенного характера. Сочетание указанных факторов позволяет решать не доступные ранее весьма сложные геомеханические задачи, характеризующиеся одновременным учетом пространственной неоднородности механических, геометрических и силовых параметров системы «слоистый массив-крепь выработки». В этой связи новые потенциальные возможности исследований настоятельно требуют совершенствования системного методологического подхода при моделировании геомеханических процессов в окрестности выработки, главная концепция которого заключается в максимально достоверном отражении свойств, структуры, конструктивных и силовых параметров объекта исследования.

Накопленный опыт компьютерного исследования геомеханических процессов указывает на целесообразность поэтапного приближения модели к реальному объекту с многократным повторением циклов

оценки достоверности и адекватности полученных результатов. Поэтапность исследований подразумевает:

– моделирование механических свойств породного массива в несколько последовательных стадий: упругое и упругопластическое деформирование в допредельном состоянии, деформирование в запредельном состоянии с учетом разупрочнения и разрыхления породы, реологическая модель упругопластического деформирования в допредельном состоянии, реологическая модель полной диаграммы деформирования породы;

– моделирование структуры массива в окрестности выработки: слоистый углевмещающий массив, представленный породами с различными физико-механическими свойствами; массив с нарушенными контактами между породными слоями; нарушенные контакты между породными слоями с моделированием основных систем природной трещиноватости в пределах каждого слоя;

– моделирование крепи производится для типовых сечений горных выработок в направлении последовательного приближения к ее реальным конструктивно-технологическим особенностям: пространственное моделирование в упругой постановке (обязательное для дискретно устанавливаемых вдоль выработки типов крепей рамных, анкерных, рамно-анкерных, металло-бетонных и т.п.) с конструктивной идеализацией наиболее геометрически сложных узлов при сохранении принципа их работы; пространственное моделирование в упругой постановке с полным отображением геометрических параметров всех узлов крепи; пространственное моделирование по полной диаграмме деформирования материалов (сталь, бетон, дерево и другие, забутовка из разрушенной породы или заполнение тампонажным раствором закрепного пространства, упрочненные твердеющими смесями приконтурные породы и так далее) всех реальных конструктивных особенностей конкретного типа крепи;

– поэтапное обоснование исходных положений моделирования: на первой стадии выбираются (наиболее характерные для конкретной горно-геологической и горнотехнической ситуации) структура и свойства вмещающего выработку породного

массива, конструкция крепи, начальные и граничные условия ее взаимодействия с приконтурными породами, размеры пространственной модели и т.п.; на второй стадии выбираются наиболее характерные (для данной шахты или геолого-промышленного района) диапазоны изменения структуры и свойств вмещающего массива, интервалы вариации типовых сечений выработок с соответствующими конструкциями крепи и ее типоразмерами, варианты режимов работы крепи с соответствующими граничными условиями; на третьей стадии исследуется поведение системы «слоистый массив – крепь выработки» для крайних значений выбранных диапазонов применения ее параметров; на четвертой стадии обосновываются диапазоны изменения основных влияющих параметров системы «слоистый массив-крепь выработки», варианты начальных и граничных условий ее деформирования, целесообразные размеры геомеханической модели применительно к конкретной шахте или геолого-промышленному району;

– оценка достоверности и адекватности геомеханической модели: последовательная оценка отдельно каждого из принятых в модели идеализаций и допущений по геометрическим, механическим и силовым параметрам системы «слоистый массив-крепь выработки» на основе соответствующих расчетов и последующего анализа ее напряженно-деформированного состояния (НДС) по каждой из компонент напряжений и перемещений; анализ степени погрешности допущений и идеализаций формируемой геомеханической модели и ее корректировка по результатам анализа; проверка адекватности и достоверности результатов моделирования на соответствие существующим аналитическим, лабораторным и шахтным исследованиям и корректировка модели на основе полученных выводов;

– обобщение результатов моделирования и выработка рекомендаций: для обоснованных ранее диапазонов изменения геометрических, механических и силовых параметров системы «слоистый массив-крепь выработки» проводится комплекс расчетов ее НДС, который формирует базу данных для построения уравнений регрессии связи параметров системы (существенно влияющих на ее НДС) и характеристик состояния выработки; на основе семейства уравнений регрессии создается методика прогноза проявлений горного давления и оценки состояния выработки для конкретной шахты или геолого-промышленного района в целом. Поэтому методика расчета перемещений контура крепи [1] построена с использованием подходов указанных принципов, а также и положений руководящего нормативного документа [2] по двум причинам: во-первых, имеется многолетний положительный опыт выполнения расчетов прогноза проявлений горного давления и принятия соответствующих технических решений по обеспечению устойчивости выработок; во-вторых, разработанная методика является дополнением к руководящему нормативному документу [2] и согласуется с ним по методологическим принципам.

Базовой является закономерность роста перемещений  $U_i^{x,y}$  (в характерных точках контура рамной крепи) с увеличением глубины  $H$  разработки. Эти закономерности строятся (по данным корреляционно-дисперсионного анализа базы данных результатов расчетов НДС системы «слоистый массив-крепь выработки») для разных значений расчетной прочности первого породного слоя (кровли или почвы, который наиболее влияет на величину перемещения конкретной точки) на сжатие в диапазоне, характерном для углевмещающих пород, например, Западного Донбасса. Естественно, при этом остальные механические характеристики полной диаграммы деформирования породных слоев (в том числе и второго слоя кровли) зафиксированы конкретными значениями. Также выбирается и фиксируется типовое сечение выработки с соответствующей крепью из спецпрофиля СВП. Полученные значения перемещений  $U_i^{x,y}$  характерных точек по контуру рамы называются типовыми  $(U_i^{x,y})_T$ . При горно-геологических и горно-технических условиях, отличающихся от типовых (либо по механическим характеристикам близлежащих породных слоев, либо по сечению выработки и виду крепи), величина типового перемещения  $(U_i^{x,y})_T$  корректируется рядом коэффициентов, каждый из которых соответствует изменению конкретно параметра.

Для выполнения вышеуказанной корректировки (по результатам расчетов НДС системы) строятся графики или таблицы, оценивающие влияние на величину типовых перемещений  $(U_i^{x,y})_T$  изменения конкретного механического или геометрического параметра системы «слоистый массив-крепь выработки».

На величину типового перемещения конкретной характерной точки периметра выработки оказывают влияние группа механических и геометрических параметров системы. Построив графики и таблицы по оценке влияния каждого из параметров, получаем набор коэффициентов, которые, будучи умноженными на величину типового перемещения  $(U_i^{x,y})_T$ , дают окончательные значения перемещений конкретной характерной точки периметра выработки во всем диапазоне изменения горно-геологических и горно-технических параметров, соответствующим условиям данного региона.

Набор корректирующих коэффициентов в количестве 18 единиц для Западного Донбасса [1] необходим, так как механические и геометрические параметры системы «слоистый массив – крепь выработки» по-разному влияют на перемещение разных характерных точек по периметру выработки. Расчетами установлено, что именно такое количество корректирующих коэффициентов является минимально достаточным для полной оценки эпюры перемещений внутреннего контура рамной крепи и на этой основе анализа эксплуатационного состояния выработки.

Все размеры типового сечения берутся в свету до осадки, а расчет перемещений контура выработки устанавливает ее окончательные размеры, уменьшающиеся под воздействием проявлений горного давления.

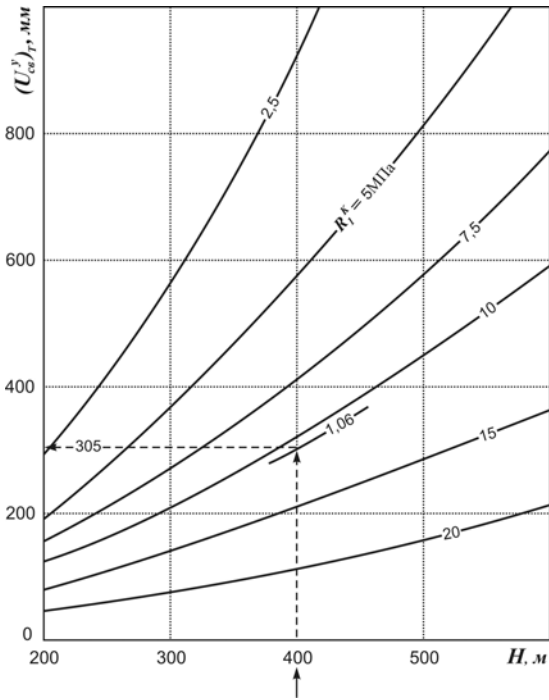


Рис. 1. Графики для определения типового вертикального перемещения замка свода  $(U_{св}^y)_T$  рамной крепи

Величина вертикальных перемещений  $U_{св}^y$  в замке свода рассчитывается по формуле

$$U_{св}^y = (U_{св}^y)_m \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 = 305 \cdot 0,80 \cdot 0,73 \cdot 1,04 \cdot 0,81 = 113 \text{ мм,}$$

где  $(U_{св}^y)_T$  – вертикальное перемещение замка свода рамной крепи в типовых условиях;  $K_1$  – коэффициент влияния расчетного сопротивления сжатию  $R_2^K$  второго породного слоя кровли;  $K_2$  – коэффициент влияния относительной остаточной прочности  $(\sigma_{сж1,2}^K)^0 / \sigma_{сж1,2}^K$  породных слоев кровли;  $K_3$  – коэффициент влияния расчетных модулей деформации  $E_{1,2}^K$  породных слоев кровли;  $K_4$  – коэффициент влияния относительного модуля спада  $M_1^K / E_1^K$  первого породного слоя кровли;  $K_5$  – коэффициент влияния типоразмера сечения выработки и вида применяемой крепи.

Величина  $(U_{св}^y)_T = 305$  мм определяется по графикам на рис. 1 в зависимости от расчетной глубины  $H = 400$  м расположения выработки и расчетного

сопротивления сжатию  $R_1^K = 10,6$  МПа первого породного слоя кровли для типовых условий поддержания выработки: типоразмер сечения выработки КМП-А3-13,8; расчетное сопротивление сжатию второго породного слоя кровли  $R_2^K = 10$  МПа; относительная величина остаточной прочности породных слоев кровли  $(\sigma_{сж1,2}^K)^0 / \sigma_{сж1,2}^K = 0,15$ ; расчетный модуль деформации породных слоев кровли  $E_{1,2}^K = 0,6 \cdot 10^4$  МПа; относительный модуль спада первого породного слоя кровли  $M_1^K / E_1^K = 1,3$ .

Коэффициент  $K_1$  определяется по табл. 1 в зависимости от сочетаний расчетных сопротивлений сжатию первого  $R_1^K = 10,6$  МПа и второго  $R_2^K = 16,3$  МПа породных слоев кровли.

Таблица 1

$R_1^K$ , МПа \ $R_2^K$ , МПа	2,5	5	7,5	10	$\geq 15$
2,5	$\frac{1,67}{1,88}$	$\frac{1,38}{1,50}$	$\frac{1,29}{1,37}$	$\frac{1,26}{1,32}$	$\frac{1,23}{1,27}$
5	$\frac{1,38}{1,49}$	$\frac{1,24}{1,30}$	$\frac{1,18}{1,24}$	$\frac{1,17}{1,20}$	$\frac{1,15}{1,17}$
7,5	$\frac{1,16}{1,21}$	$\frac{1,10}{1,14}$	$\frac{1,09}{1,11}$	$\frac{1,08}{1,09}$	$\frac{1,07}{1,08}$
10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
15	$\frac{0,77}{0,72}$	$\frac{0,83}{0,79}$	$\frac{0,86}{0,82}$	$\frac{0,87}{0,84}$	$\frac{0,88}{0,86}$
20	$\frac{0,62}{0,54}$	$\frac{0,70}{0,64}$	$\frac{0,73}{0,68}$	$\frac{0,75}{0,72}$	$\frac{0,77}{0,74}$

Примечание: в числителе приведены значения  $K_1$  при  $H = 200$  м, в знаменателе – при  $H = 600$  м.

Коэффициент  $K_2$  определяется по графикам на рис. 2 в зависимости от величины относительной остаточной прочности первого  $(\sigma_{сж1}^K)^0 / \sigma_{сж1}^K = 0,2$  породных слоев кровли и второго  $(\sigma_{сж2}^K)^0 / \sigma_{сж2}^K = 0,15$ .

Коэффициент  $K_3 = 0,73$  определяется по графикам на рис. 3 в зависимости от расчетных модулей деформации  $E_1^K = 0,88 \cdot 10^4$  МПа и  $E_2^K = 1,08 \cdot 10^4$  МПа породных слоев кровли.

Коэффициент  $K_4 = 1,04$  определяется по графику на рис. 4 в зависимости от величины относительного модуля спада  $M_1^K / E_1^K = 1,5$  первого породного слоя кровли.

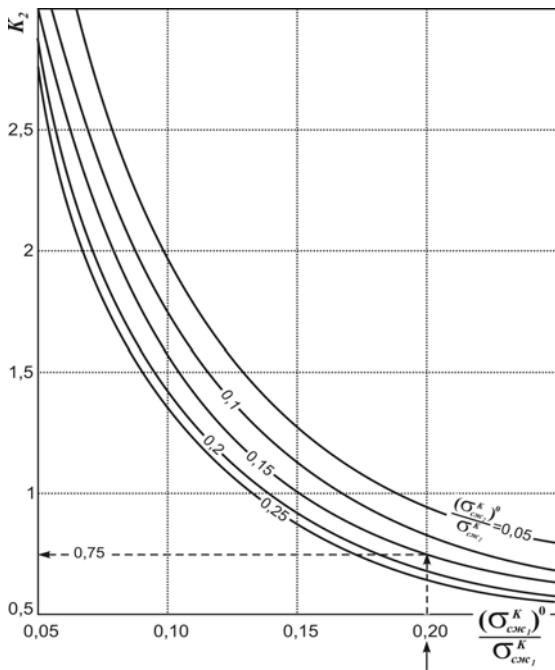


Рис. 2. Графики для определения коэффициента  $K_2$  влияния относительной остаточной прочности породных слоев кровли

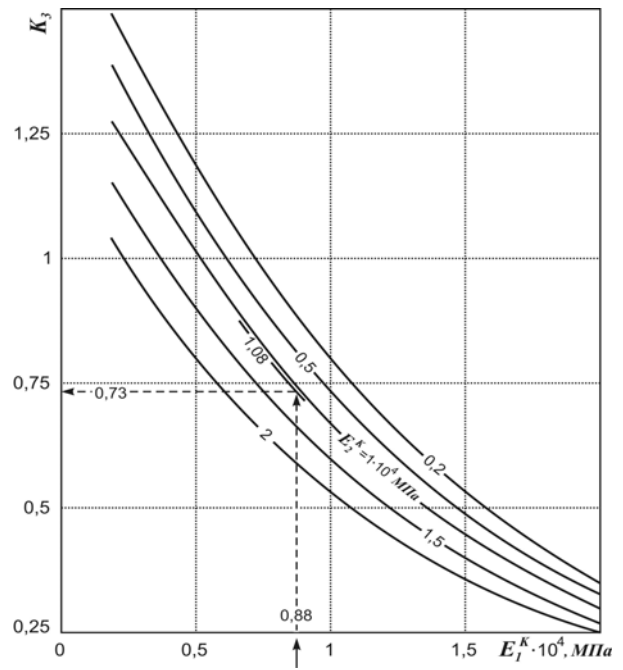


Рис. 3. Графики для определения коэффициента  $K_3$  влияния модулей деформации породных слоев кровли

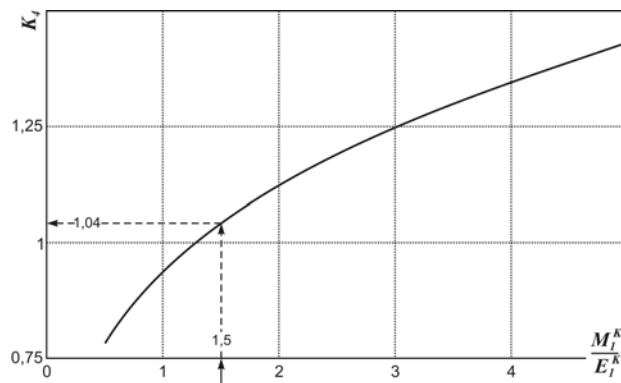


Рис. 4. График для определения коэффициента  $K_4$  влияния относительного модуля спада первого породного слоя кровли

Таблица 2

Вид крепи	Площадь поперечного сечения в свету до осадки, $S_{св}$ , м <sup>2</sup>					
	7,9	9,2	11,2	13,8	15,5	18,3
$K_5$	0,71	0,78	0,88	1,00	1,07	1,19
КШПУ	9,5	10,5	11,7	12,1	14,4	17,7
$K_5$	0,73	0,77	0,81	0,82	0,89	0,98

Коэффициент  $K_5 = 0,81$  определяется по табл. 2 в зависимости от типоразмера выработки и вида применяемой крепи: КМП-А3 или КШПУ.

Таким образом, безопасные условия допустимой вертикальной податливости замка рамной крепи (113 мм < 300 мм) выполняются, и выработка может эксплуатироваться по данному фактору без ремонт-

ных работ. Аналогичным образом, по методике [1] оценивается эксплуатационное состояние выработки в характерных точках по всему ее периметру.

**Список литературы**

1. Методика прогноза перемещений контура крепи выемочной выработки, расположенной в слоистом массиве слабых пород / Бондаренко В.И., Ковалевская И.А., Симанович Г.А. и др. – Д.: НГУ, 2008. – 69 с.
2. КД 12.01.01.201-98. Расположение, охрана и поддержание горных выработок при отработке угольных пластов на шахтах. Методические указания. – К.: УкрНИМИ, 1998. – 149 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Бондаренком 05.09.09



УДК 622.235.43

Л.Н. Шиман, В.В. Соболев

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВ ЭМУЛЬСИЙ С ДОБАВКАМИ ВОДЫ, ИСПОЛЬЗОВАННОЙ В ПРОЦЕССЕ ГИДРОРАЗМЫВА ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА

Встановлено чутливість до тертя та удару, рН і термічні характеристики, водостійкість і плинність емульсій з добавками води, відібраної з технологічного процесу гідромеханічного витягання твердого палива.

Установлены чувствительность к трению и удару, рН и термические характеристики, водоустойчивость и текучесть эмульсий с добавками воды, отобранной из технологического процесса гидромеханического извлечения твердого топлива.

Sensitivity to a friction and shock, pH and thermal characteristics, waterproof and fluidity of emulsions with the water additions, selected of technological process of hydromechanical extraction of hard fuel are established.

Водно-масляная внутренняя физическая структура эмульсионных взрывчатых веществ (ЭВВ) принципиально отличается от водосодержащих суспензий (водных гелей). В ЭВВ существенно увеличена поверхность контакта между окислительной фазой (ОФ) и горючей фазой (ГФ), расположенной в виде пленки на поверхности плотно упакованных жидких микрочастиц (до 0,001 мм) окислителя. Такая структурная особенность формирует целый ряд уникальных физико-химических свойств эмульсии, например, таких как высокая степень безопасности и водоустойчивости, практически полное завершение химических реакций и т.д.

Выбор методов испытаний, соответствующих специфическим свойствам эмульсий, необходим для правильной организации работ на производстве и понимания современных тенденций в направлении развития производства эмульсионных ВВ. Одним из важнейших компонентов эмульсионных ВВ является вода. Она оказывает значительное влияние на плотность эмульсий, качество эмульгирования и энергетический потенциал системы в целом.

**Цель исследований** – определение чувствительности эмульсий, содержащих воду, взятую из технологического цикла гидроразмыва твердого ракетного топлива, к механическим воздействиям, водородного показателя, термических и некоторых других физических характеристик, влияющих на стабильность параметров ЭВВ.

**Материалы и методы исследования.** Перед проведением исследований свойств эмульсий были выполнены химические анализы промывной воды на содержание водорастворимых компонентов ТРТ. Определение водородного показателя растворов проводили в соответствии с инструкцией по эксплуатации рН-метра.

Анализ на содержание водорастворимых окислителей (ВРО), выполнялись в соответствии с методиками “Определение суммы продуктов водорастворимых окислителей в технологических водах после размыва СТТ весовым методом (контроль титриметрическим методом)” (МТ-42-2004), “Определение массовой доли суммы водорастворимых окислителей

в технологических водах неводным титрованием” (МТ-43-2004). Дифференциальный термический анализ проводился с использованием термоанализатора L81 немецкой фирмы "Linseis" и дифференциального гравиметрического термоанализатора Diamond TG/DTA производства фирмы "Perkin Elmer" США.

Испытания к удару и трению проводились по методике [1] с использованием соответственно копра БИМ 782-0000 (Германия) и фрикционного прибора БИМ 781-0000 (Германия).

Вода из технологической линии испытывалась после каждого цикла вымывания наполнителя. Исследование вымывной воды, циркулирующей в технологической линии, проведено по следующим показателям: сухой остаток, взвешенные вещества, содержание окислителей, железа, сульфатов, хлоридов и нитратов, плотность и рН. Суммарное содержание ВРО в промывной воде составило 20,3%.

Изготовленный водный раствор окислителя содержал аммиачную и кальциевую селитры. Полученный раствор упаривали в течение 1 часа при 80°C и после этого подготовленный раствор окислителей испытали на чувствительность к удару и трению, табл. 1.

Таблица 1  
Результаты испытаний окислителей

Наименование исследуемого материала	Масса, г	рН	Чувствительность	
			к удару, Дж	к трению, Н
Раствор окислителей до упаривания	192	4,42	>50	>360
Кристаллическая смесь окислителей	178	5,07	>50	>360

Вода, входящая в состав эмульсии рецептуры №1 (табл. 2), отобрана из технологической линии гидроразмыва. Эмульсию термостатировали в течение 1 часа при температуре 110-131,2 °С. После этого ее испытывали на чувствительность к удару и трению, выполняли дифференциальный термический анализ.

Результаты испытания эмульсии №1

Наименование исследуемого вещества	Масса, г	рН	ДТА, °С	Чувствительность	
				к удару, Дж	к трению, Н
<b>Эмульсия №1 до упаривания, состав в %:</b>	456,93	3,9	142,6	>50	>360
окислительная фаза – 81					
промывная вода – 9,5					
ВРО – 2,5					
горючая фаза – 7					
тиомочевина и уксусная кислота (сверх 100%) – 1,0					
<b>Кристаллическая смесь окислителей</b>	452,61	3,46	–	>50	>360

Поскольку чувствительность к удару и трению превышает соответствующие критериальные параметры, то эмульсия №1 считается не опасной при механических воздействиях.

Температура вспышки равна 142,6 °С. Этот показатель ниже, чем для украинита и выше, чем для эмульхима [2].

На следующем этапе исследований выполнены работы по изготовлению эмульсии с использованием водного раствора, полученного после разделения водорастворимых окислителей. Для этого предварительно проводилась конверсия окислителей, содержащихся в промывной воде.

Кристаллические продукты отделялись фильтрованием, а водный раствор, содержащий растворенный

динитрамид калия (продукт Д), использовался для приготовления эмульсии рецептуры №2 (табл. 3). Эмульсию термостатировали в течение часа при температуре 110-131,2°С до полного растворения селитр, после чего охлаждали и проводили испытания на чувствительность к удару и трению, по данным ДТА определяли ее термостабильность. Результаты испытаний приведены в табл. 3.

Текучесть эмульсий определялась по методике “Определение растекаемости эмульсионной матрицы” (МТ-4-2005). В экспериментах использованы эмульсии отработанных составов, отличающихся содержанием и количеством технической и вымывной воды, составом и содержанием горючего, количеством аммиачной и кальциевой селитр, их соотношением.

Таблиця 3

Результаты испытания эмульсии №2

Наименование исследуемого вещества	Масса, г	рН	ДТА, °С	Чувствительность	
				к удару, Дж	к трению, Н
<b>Эмульсия №2, состав в %:</b>					
окислительная фаза – 81					
промывная вода – 10					
продукт Д – 2					
горючая фаза – 7					
тиомочевина и уксусная кислота (сверх 100%) – 1,0					
<b>Результаты исследований</b>	500	7,55	180	>50	>360

Образцы эмульсий, отобранные для испытаний, представляли собой гелеобразную массу светложелтого цвета. Вес каждого образца составлял 50 г. Эксперименты проводились при температурах 20 и 60 °С, относительной влажности 65-70% и атмосферном давлении 750 мм рт. ст. Исследованиями установлено, что полученные результаты соответствуют критериальным требованиям.

На рис. 2 и 3 приведены экспериментальные зависимости текучести эмульсий от содержания горючей фазы и типа эмульгатора при температурах 20 и 60 °С.

Во всех опытах наблюдается одна и та же закономерность – снижение текучести при увеличении содержания эмульгатора и уменьшении содержания индустриального масла независимо от температуры.

Важнейшей характеристикой эмульсий, на основе которых производится эмульсионные ВВ, предназначенные для взрывания в обводненных скважинах, является водоустойчивость. Испытания проводились по методике “Определение водоустойчивости эмульсионной матрицы и эмульсионных взрывчатых веществ в непроточной воде на содержание аммиачной, кальциевой и натриевой селитр” (МТ-16-2005). В соответствии с методикой образцы эмульсии весом 50 г выдерживались в 500 мл воды в течение трех суток. В течение этого времени количество растворившейся аммиачной селитры составило 3,8%, т.е. испытанное вещество является водоустойчивым.

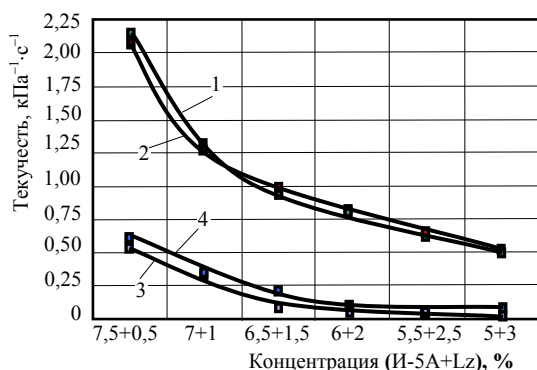


Рис. 2. Залежність текучості емульсій від концентрації індустріального масла І-5А та емульгатора: 1 – І-5А+Lz2735 ( $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); 2 – І-5А+Lz2735 ( $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); 3 – І-5А+Lz2729 ( $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); 4 – І-5А+Lz2729 ( $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

**Висновки.** По результатам дослідження текучості емульсій в залежності від вмісту масла, емульгатора та їх співвідношень встановлено, що зниження текучості відбувається при збільшенні вмісту емульгатора та зменшенні вмісту індустріального масла незалежно від температури в межах вказаного діапазону. В цілому, встановлені значення чутливостей до тріння та удару, термічних характеристик, водостійкості та текучості емульсій, що містять промивальну воду, відносяться до речовин не небезпечних при обробці. Таким чином, емульсії можуть бути рекомендовані до використання в технології виробництва емульсійних ВВ.

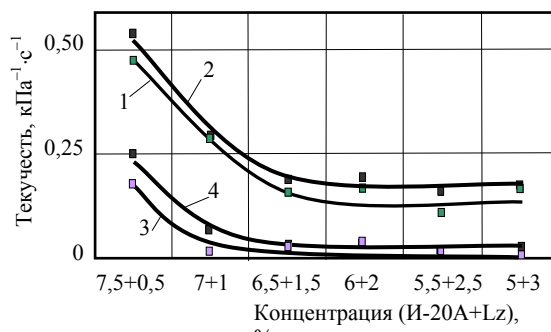


Рис. 3. Залежність текучості емульсій від концентрації індустріального масла І-20А та емульгатора: 1 – І-20А+Lz2735 ( $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); 2 – І-20А+Lz2735 ( $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); 3 – І-20А+Lz2729 ( $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); 4 – І-20А+Lz2729 ( $T=60\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

### Список літератури

1. Рекомендації по перевозці небезпечних вантажів, керівництво по випробуванням і критеріям. Методика ООН 5(а). – ООН, 1995. – 246 с.
2. Сторчак С.О., Кравцов М.В., Поплавський В.А. Виготовлення і застосування емульсійних вибухових речовин на кар'єрах. – К.: ЕкспоДата, 2004. – 95 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Шашенком  
30.07.09

**ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УГЛЕДОБЫЧИ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА В СЛОЖНЫХ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

Аналітичними та шахтними дослідженнями встановлено причини формування нестабільності газового режиму видобувних ділянок вугільних шахт, які обумовлені фактором зональної дезінтеграції газонасичених порід при веденні очисних робіт, що призводить до перехідних аерогазодинамічних процесів і сплесків вмісту метану в гірничих виробках.

Аналитическими и шахтными исследованиями установлены причины формирования нестабильности газового режима добычных участков угольных шахт, которые обусловлены фактором зональной дезинтеграции газонасыщенных пород при ведении очистных работ, что приводит к переходным аэрогазодинамическим процессам и всплескам содержания метана в горных выработках.

Analytical and mine researches are set reasons of forming of instability of the gas mode of booty areas of coal mines which are conditioned the factor of zonal disintegration of the breeds saturated gas at the conduct of cleansing works that results in transitional aero and gas dynamic processes and splashes of maintenance of methane in the mountain making.

Столбовая система разработки с управлением кровлей полным обрушением широко распространена на высокопроизводительных шахтах Донбасса с пологим залеганием угольных пластов, что обусловлено возможностью разделения по времени очистных и подготовительных работ, применения возвратноточных и комбинированных схем проветривания, минимизацией утечек свежей струи воздуха через выработанное пространство и др. Тем не менее, при интенсивном подвигании очистного забоя происходят значительные деформации штреков и загазирование лавы, что связано, прежде всего, с большими объемами выработанных пространств отработанных лав по всей длине выемочного столба и нестабильностью газовыделения в штреки по траектории движения вентиляционной струи. Анализ результатов фундаментальных исследований, проведенных учеными в области механики горных пород, а также опыта поддержания подготовительных выработок в условиях шахты им. А.Ф. Засядько, наработанного сотрудниками ИГТМ НАН Украины совместно с инженерами НГУ и шахты, позволяет утверждать, что повышение эффективности угледобычи и безопасности труда в условиях больших глубин разработки и высокой газонасыщенности породного массива могут быть обеспечены только применением комплекса мероприятий по снижению деформаций протяженных штреков и улучшению аэрогазодинамического режима добычных участков. Сложность и недостаточная изученность указанных вопросов определили актуальность следующих задач: оценки причин нестабильности газового режима добычных участков и улучшения условий их проветривания; геомеханического обоснования параметров новых способов поддержания протяженных выработок в сложных горно-геологических условиях и разработки технологий их осуществления; повторного использования конвейерных штреков в

качестве вентиляционных для следующих выемочных столбов.

Основной причиной, сдерживающей темпы угледобычи, является ограничение нагрузки на очистные забои по газовому фактору. Относительная газообильность шахты им. А.Ф. Засядько составляет 52 м<sup>3</sup>/т, средняя абсолютная газообильность выемочных участков достигает 93 м<sup>3</sup>/мин. В таких условиях наиболее опасными являются трудноуправляемые колебания содержания метана, которые вызваны сложными геомеханическими и фильтрационными процессами при разрушении породного массива, посадками основной кровли, неритмичностью и недостаточной эффективностью дегазационных мероприятий, суфлярами, открытием и закрытием вентиляционных дверей и другими. Вследствие этого в горных выработках происходят интенсивные аэрогазодинамические процессы и скачки концентрации метана, которые нарушают стабильность газового режима добычных участков.

В данных условиях весьма важной предпосылкой повышения безопасности горных работ является разработка способов управления горным давлением и эффективного проветривания добычных участков, которые базируются на обстоятельном изучении напряженно-деформированного состояния породного массива и переходных аэрогазодинамических процессов в горных выработках. Поскольку система разработки предполагает эксплуатацию штреков в течение длительного времени, необходимо поэтапно определять области разрушения породного массива и интенсивность фильтрации метана в выработки, которыми характеризуются все стадии отработки выемочного столба.

Расчеты упругого, упругопластического и запрельного деформирования породного массива базировались на аналитических закономерностях механики сплошных сред и теории предельных состояний,

которые были реализованы известными и широко апробированными процедурами методов конечных элементов и начальных напряжений. Для расчетов использован вычислительный комплекс «ГЕОРС (v.5.0.)», разработанный ИГТМ НАН Украины [1]. Математическое моделирование проводилось на основе упругопластической деформационной модели с разупрочнением за пределом прочности, поскольку она наиболее точно соответствует деформированию горных пород на больших глубинах. Для определения параметров сложных процессов деформирования трещиноватых структурно-неоднородных пород использована объектно-ориентированная технология компьютерного анализа, которая позволяет рассчитать направления линий скольжения и определять возможную ориентацию техногенных трещин с учетом доминирующих систем естественной трещиноватости.

Объектом моделирования выбран пласт  $m_3$ , мощностью 2 м, глубина залегания 1300 м. Задача решена для 2 основных и 11 вспомогательных поперечных разрезов. В расчетную схему (рис. 1, а) были введены реальные физико-механические свойства пород, мощности пластов, формы и размеры выработок. В результате расчетов определены: смещения узлов элементов, состояние элементов (упругое деформирование, пластичное или с разрывными нарушениями), выявлены и обозначены зоны разрушения массива, максимальные главные напряжения  $\sigma_1$ , которые были использованы для построения карт напряженного состояния и оконтуривания зон разрушений (см. рис. 1, б, в).

Так как движение газа происходит из зон с повышенным давлением в зоны пониженного давления по открытым трещинам, то есть по разрушенным участкам, анализ полученной при моделировании информации позволил выявить направление потоков метана (показано стрелками на рис. 1, б). Определено, что выделение метана из выработанного пространства является доминирующим и в 2,5-3 раза превышает газовыделение из других источников, что связано с активными разрушениями газонасыщенного песчаника в основной кровле пласта  $m_3$ . Установлено, что нестабильность газового режима опасных по газу добычных участков обусловлена фактором зональной дезинтеграции газонасыщенных песчаников основной кровли при ведении очистных работ. Это приводит к переходным аэрогазодинамическим процессам и всплескам содержания метана в горных выработках, которые имеют максимальные значения на сопряжениях лавы, что в целях обеспечения безопасности работ требует дополнительных мероприятий по проветриванию сопряжений. Предложен, подтвержден патентом и апробирован способ проветривания и отвода метана за счет общешахтной депрессии путем использования двух регуляторов парашютного типа для распределения воздуха по участкам выработок выемочного участка, один из которых использовался как разделительный, а второй – как рабочий. Способ обеспечивает регулирование расхода воздуха,

направляемого для проветривания тупиковой части погашаемого вентиляционного штрека, и поддержку заданных концентраций метана в ограниченной регулятором части штрека, расширяет диапазон регулирования в выработках выемочного участка. Установлено, что применение способа снижает негативное влияние спонтанных проявлений природных и горно-технических факторов, сопровождающихся всплесками концентраций метана в участковых выработках и повышает безопасность работ на добычных участках.

Одной из основных причин недостаточной эффективности проветривания добычных участков является потеря сечения подготовительных выработок при их деформировании. Сохранение сечения штреков связано с вопросами обоснования параметров комбинированного способа поддержания, включающего рамно-анкерное крепление, возведение околострековых литых полос из быстротвердеющих материалов, установку крепей усиления, выкладку бутовых полос и др. Эффективность таких средств поддержания может быть весьма высокой при решении проблемы повторного использования выработок.

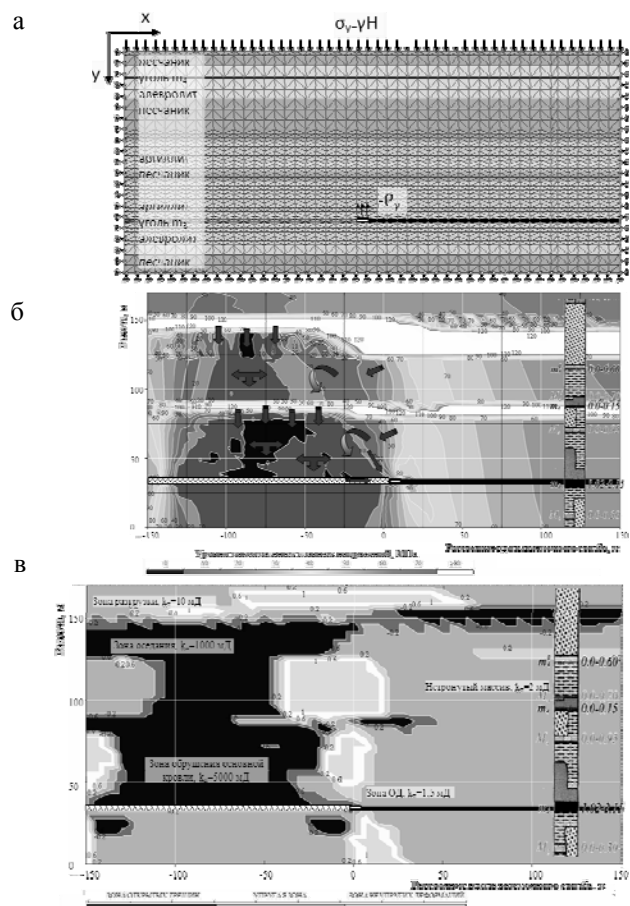


Рис. 1. Исследование источников формирования нестабильности газового режима добычных участков: а – расчетная схема МКЭ; б – закономерности распределения максимальных главных напряжений; в – зоны разрушения

Шахтные исследования состояния выемочных штреков выполнялись в течение нескольких лет комплексным методом, включающим геофизические и инструментальные измерения: смещений пород в выработке вне зоны и в зоне динамического опорного давления лавы, характера расслоений пород кровли, скорости и величины смещений почвы выработок, размеров трещиноватых зон, конвергенции кровля-почва и боков выработок, расхода воздуха и концентрации метана. Исследования проявлений горного давления проводились в вентиляционных и конвейерных штреках 14, 15, 16 и 17 западных лав, отрабатывающих угольный пласт  $m_3$  на глубинах 1100-1300 м, 2 и 3 западных лав пласта  $l_4$  на глубинах 700-850 м. Пласт  $m_3$  мощностью 1,6-2,1 м имеет в непосредственной кровле неустойчивый аргиллит (категория Б1-Б2), мощностью 2,5-3,5 м; выше залегает аргиллит легкообрушаемый и среднеобрушаемый (категория А1-А2) с переходом в алевролит и газонасыщенный песчаник. В непосредственной почве залегает склонный к пучению алевролит, мощностью до 1 м (категория устойчивости П1-П2), а дальше алевролит мощностью 15-21,5 м. Пласт  $l_4$  мощностью 1,0-1,1 м залегает в породах ниже средней устойчивости. В непосредственной кровле расположен алевролит мощностью 6,1-12,4 м (прочность 30-40 МПа). Выше залегает аргиллит и песчаник. В непосредственной почве расположен алевролит ниже средней устойчивости, склонный к пучению, мощность 3,5-5,25 м, прочность от 30 до 50 МПа. Таким образом, горно-геологические условия экспериментов – сложные, представительные и соответствуют целям и задачам исследований.

Исследования показали, что процесс смещения кровли характеризуется двумя периодами – интенсивным и установившимся (рис. 2, а). Первый период длится 25-30 суток и характеризуется значительными проявлениями горного давления. После превышения крепью уровня податливости (смещения кровли достигали 520 мм (рис. 2, б), наблюдалось интенсивное проскальзывание верхняка арки в замковом соединении и вдавливание ножек арки в почву выработки. На участках с увлажненной почвой конвергенция кровля – почва достигала 2500-2800 мм. Существенное влияние лавы в зоне динамического опорного давления проявлялось тогда, когда лава находилась в интервале от 40 до -40 м относительно замерных станций.

В результате электрометрических измерений установлено, что при рамно-анкерном креплении уменьшение смещений кровли происходит, в основном, за счет снижения трещиноватости зоны анкерования, так как в слое массива, расположенном выше зоны анкерования на глубину до 8 м от обнажения кровли, ее снижение составляет не более 10-20% по сравнению с рамным креплением. Установлено, что в выработках с рамно-анкерной крепью смещения кровли за период интенсивного проявления горного давления на 70% ниже, чем при рамном креплении, но затем происходит смещение анкеров в шпурах и опускание кровли продолжается

с одинаковой скоростью. Следовательно, несмотря на то, что в слабых породах комбинированное рамно-анкерное крепление повышает устойчивость выработок, его эффективность снижена вследствие перемещения анкеров в шпурах вследствие контакта «анкер – смола – порода».

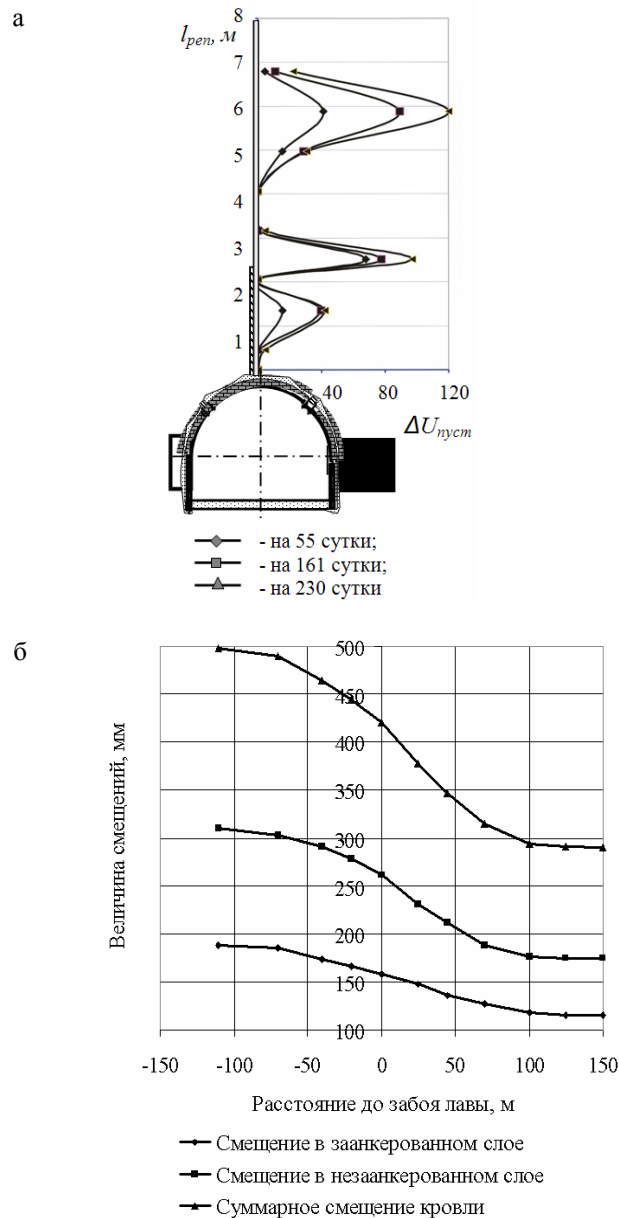


Рис. 2. Типичные проявления горного давления в выемочных штреках: а – дезинтеграция пород кровли по данным глубинной реперной станции; б – смещения кровли конвейерного штрека под влиянием очистных работ

Перемещение начинается на участках ослабления прочности пород. Этот факт подтвержден экспериментальными исследованиями, которые были выполнены в кровле вентиляционного штрека 16-й западной лавы пласта  $m_3$ . У проходческого забоя были установлены тензометрический анкер и



глубинная реперная станция. Замеры натяжений участков анкера и расслоений пород производили в течение 270 суток. Под влиянием очистных работ максимальное расслоение пород наблюдалось на расстоянии 1,2-1,8 м от краевой части выработки, что соответствовало участку максимального натяжения тензометрического анкера.

Для увеличения несущей способности анкеров в слабых породах были предложены и подтверждены патентами новый способ закрепления анкеров, средства и технология бурения шпуров. Способ основан на целенаправленном изменении рельефа шпуров и контактной области «смола – порода» (рис. 3). Рациональные параметры полостей, включая их форму, размеры, количество и расположение по длине шпура определялись по разработанной технологии с учетом прочностных характеристик полимерного закрепителя, породы и нормативных технологических требований на установку анкеров. Способ предназначен для эффективного поддержания протяженных подготовительных выработок, располагаемых в сложных горно-геологических условиях глубоких шахт и породах кровли до неустойчивой включительно. Контроль рельефа поверхности шпуров при их образовании бурильными установками типа BAS, Wombat, Exchem, а также самоходными установками типа ABS в породах непосредственной кровли пластов  $m_3$  и  $l_4$  проводился с помощью кавернометра конструкции английской фирмы MPT (погрешность измерений 0,1 мм) с шагом перемещения замерного сечения через каждые 20-25 мм длины шпура.

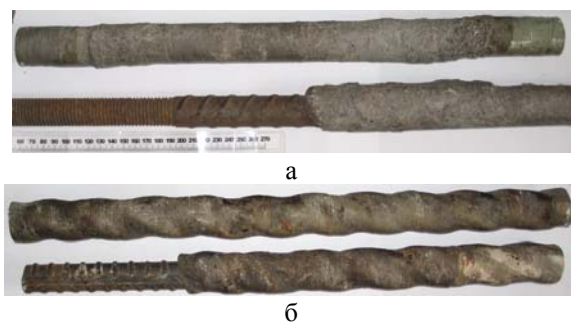


Рис. 3. Изменение рельефа контактной области «смола – порода»: а – при обычном способе закрепления анкеров в шпуре; б – при новом способе закрепления анкеров

Для снижения деформаций почвы выработок было предложено закрепление почвы выработки анкерами стеклопластиковыми армированными трубчатыми (АСАТ) конструкции ИГТМ НАН Украины [2]. В качестве закрепителя применялся цемент КЛ (Minova), смола КФ-МТ-15 и ангидридный отвердитель в соотношении 10:1.

ИГТМ НАН Украины были разработаны методические рекомендации по комплексному мониторингу проявлений горного давления и определению аэрога-

зодинамических параметров в подготовительных выработках при проведении испытаний, обоснованы силовые характеристики системы крепь – массив (рис. 4) для условий комбинированного рамно-анкерного способа поддержания конвейерных и вентиляционных штреков 2-й и 3-й западных лав пл.  $l_4$  шахты им. А.Ф. Засядько с учетом тектонической активности, неупругих деформаций и трещиноватости горных пород.

Опытно-промышленные испытания и внедрение в производство новых способов поддержания выработок проведено в условиях 2-й и 3-й западных лав пласта  $l_4$  (рис. 5). Целью испытаний было получение объективной и достоверной информации о повышении несущей способности сталеполимерных анкеров за счет изменения профиля стенок шпура при их установке в неустойчивых и весьма неустойчивых кровлях, повышении устойчивости почвы выработок за счет ее закрепления стеклопластиковыми анкерами в условиях подверженных пучению пород, принятию решения о дальнейшем использовании средств крепления, разработка рекомендаций по совершенствованию конструктивных и технологических параметров.

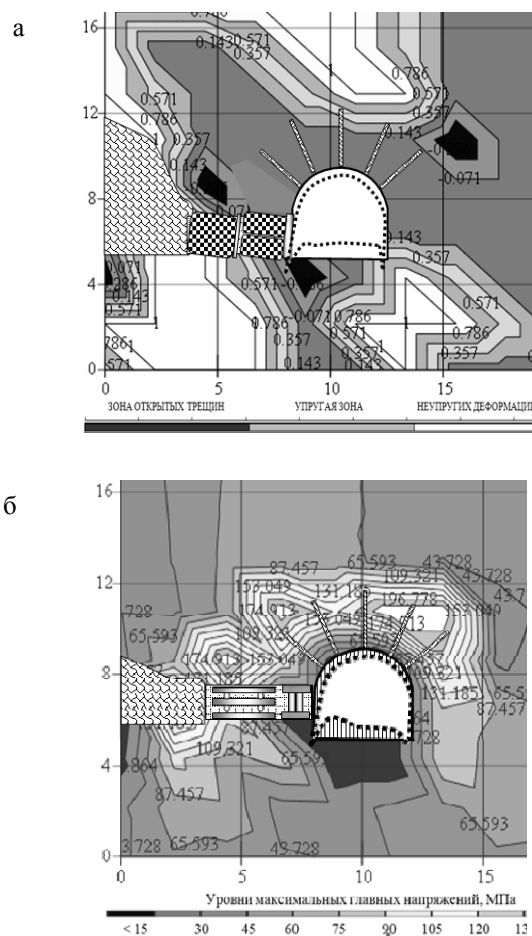


Рис. 4. Напряженно-деформированное состояние массива при комбинированном рамно-анкерном креплении штреков: а – зоны неупругих деформаций вокруг штрека; б – максимальные главные напряжения

Рамно-анкерное крепление штреков состояло из комплекта арочной крепи КМП-А3-13,8 уд, устанавливаемой с частотой 1,54 рамы на метр длины выработки и 10 анкеров длиной 2,4 м, которые располагали в кровле между арками податливой крепи. Схема установки анкеров в кровлю не изменялось, поэтому применяемое на шахте рамно-анкерное крепление принято в качестве базы для сравнения. Участок конвейерного штрека 2-й западной лавы пласта  $l_4$ , протяженностью 97 м (ПК 115+5 м – ПК 125+2 м) был закреплен комбинированной рамно-анкерной крепью, а почва выработки дополнительно закреплена анкерами АСАТ диаметром 30 мм, длиной 1600 мм. Анкеры устанавливали перпендикулярно напластованию пород почвы по схеме: пять анкеров в ряду через 800 мм с отступлением крайних анкеров от бока

выработки на 400-600 мм и через 800 мм между рядами. Для удержания ножки арочной крепи от вдавливания в почву на отдельных участках по обе стороны борта штрека под углом 450-600 к напластованию почвы устанавливали по одному металлическому анкеру длиной 2,2 м. Бурение шпуров диаметром 43 мм осуществляли перфоратором ПП-54. Для определения состояния выработки на участках испытаний и прилегающих к ним участках были оборудованы комплексные измерительные станции, на которых устанавливали глубинные реперы для определения размеров зон неупругих деформаций и расслоений пород кровли на различных удалениях от контура выработки, контурные реперы для определения смещений, а также реперы конструкции ИГТМ НАН Украины для измерения смещений пород почвы.

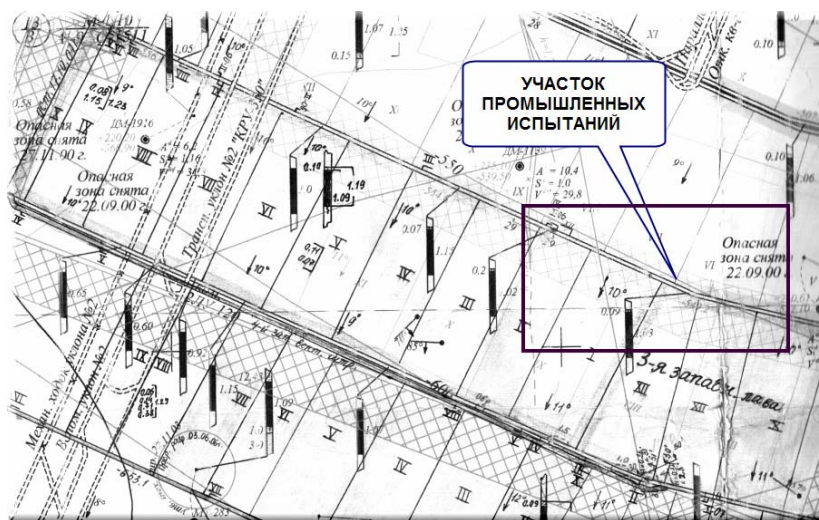


Рис. 5. Подготовительные выработки 2-й и 3-й западных лав пласта  $l_4$

Исследования состояния кровли конвейерного штрека на участках, закрепленных по традиционной технологии показали, что под влиянием проходческих и очистных работ слой породы, расположенный в заанкерванной зоне в интервале 0-2,25 м, расслоился на 188 мм, выше зоны анкерования в интервале 2,25-7,2 м – на 310 мм, а общее опускание кровли, в среднем, составило 498 мм. До начала влияния очистных работ пучение почвы составляло 110-170 мм, при подходе лавы на расстояние 150 м пучение стало расти до 260 мм, на расстоянии 80 м – около 350 мм. Наиболее интенсивные смещения почвы выработки стали проявляться на расстоянии примерно 40 м от линии очистного забоя и после прохода лавы достигли 624-740 мм, что вызвало необходимость подрывки почвы комбайном ПП-110.

На участке штрека, закрепленном рамно-анкерной крепью с установкой сталеполлимерных анкеров в шпурах с целенаправленно измененным рельефом стенок под влиянием проходческих и очистных работ слой породы, расположенный в заанкерванной зоне в интервале 0-2,25 м, расслоился на 81 мм, выше зо-

ны анкерования в интервале 2,25-7,2 м – на 200 мм, а общее опускание кровли, в среднем, составило 281 мм. Главные напряжения в заанкерванной зоне участка массива возросли на 61%, а величина и скорость смещений кровли уменьшились в среднем на 47%.

Исследования состояния почвы конвейерного штрека показали, что на участке штрека, закрепленном дополнительным анкерованием почвы выработки анкерами АСАТ, смещения почвы снизились в среднем на 49% и после прохода лавы составляли 320-376 мм, что не превысило допустимую величину, поэтому подрывание почвы на экспериментальном участке не проводилось.

Таким образом, в результате аналитических и шахтных исследований установлены причины формирования нестабильности газового режима добычных участков угольных шахт, которые обусловлены фактором зональной дезинтеграции газонасыщенных пород при ведении очистных работ. Это приводит к переходным аэрогазодинамическим процессам и всплескам содержания метана в горных выработках, которые имеют максимальные значения на сопряже-



ниях лавы и вызывают необходимость применения дополнительных мероприятий по проветриванию в целях обеспечения безопасности работ. В результате разработки и внедрения в производство при отработке 2-й и 3-й западных лав пл.  $l_4$  шахты им. А.Ф. Засядько комплекса мероприятий по повышению устойчивости подготовительных выработок, поддерживаемых комбинированным рамно-анкерным креплением, были сохранены и повторно использованы более 3 км выемочных штреков, что доказало работоспособность и эффективность разработанных способов поддержания. Это позволило повысить безопасность работ и увеличить темпы угледобычи до 60 тыс. т/мес, а также получить значительный фактический экономический эффект. Факторами экономической эффективности послужили снижение затрат в обслуживающих лаву звеньях технологической цепи и рост нагрузки на очистной забой по газовому фактору.

Опыт работы может быть использован для повышения эффективности угледобычи и безопасности работ на опасных по газу добычных участках.

#### Список литературы

1. Экспериментально-аналитический метод прогноза направлений и интенсивности газовых потоков / А.Ф. Булат, С.А. Курносов, И.Н. Слащев и др. // Геотехническая механика. – Д., ИГТМ НАНУ, 2005. – Вып. 59. – С. 10-21.
2. Kurnosov S. Control of gas-saturated massif behavior in the deep horizons of the coal mines / S. Kurnosov, I. Slashev, V. Osenniy // The 7th European coal conference: Abstracts, Lviv, August 26-29, 2008. – Lviv: IGGCM NASU, 2008. – P. 70-72.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Голіньком 14.09.09*

П.Г. Пігулевський, В.М. Кічурчак, В.Ю. Коваленко, О.Д. Додатко

## СТАН ПИТАННЯ ПО ПРОБЛЕМІ ДОСЛІДЖЕНЬ АЛМАЗОНОСНОСТІ ПІВДЕННО-СХІДНОЇ ЧАСТИНИ УКРАЇНСЬКОГО ЩИТА

Виконано стислий огляд проблеми алмазоносності території південно-східної частини Українського щита.

Выполнен сжатый обзор по проблеме алмазоносности территории юго-восточной части Украинского щита.

The analysis on the problem of diamonds searches of territory of southeast part of the Ukrainian shield is executed.

**Вступ.** Початок вивчення алмазоносності території України потрібно віднести до 1949 року, коли Східно-Українською експедицією (С.Т. Борисенко, І.Р. Вахно) в алювії нижньої течії р. Базавлук вперше був знайдений кристал алмазу. В 1950 році організації Академії наук і Міністерства геології СРСР приступили до складання геологічного огляду країни з точки зору можливих перспектив окремих її регіонів на алмази. Дані по Україні були підготовлені М.П. Семененком та І.С. Усенком у праці „Заключение по алмазоносности отдельных регионов СССР. Украинский кристаллический массив» (1954). Аналізуючи геологічну будову і тектонічне положення України в загальній структурі Східноєвропейської платформи, автори виділили перспективні Приазовський, Побузький і Центральний райони Українського щита (УЩ), а також Львівсько-Брестську западину, що примикає до масиву з північного заходу. Підставою для віднесення названих районів до розряду перспективних послужила наявність в їх межах інтрузивних ультраосновних і вулканічних основних порід, а також виявлення алмазу в алювії р. Базавлук.

Переглянемо питання, які торкаються проблеми пошуків алмазів в південно-східній частині УЩ. В східній частині регіону (власне Приазов'я та зоні стикування з ДДЗ) роботи виконує Приазовська, в Криворізько-Кременчуцькій зоні – Криворізька, а в центральній частині (Середнє Придніпров'я і частково Західне Приазов'я) – Новомосковська геологорозвідувальні експедиції казенного підприємства (КП) “Південукргеологія” (рис. 1). Науковометодичним обґрунтуванням цих досліджень займався Сімферопольський інститут мінеральних ресурсів (ІМР). Консультації, а також лабораторні дослідження виконували співробітники Центрального науково-дослідницького державного геологорозвідувального інституту (ЦНДГРІ, м. Москва), Інститут геохімії, мінералогенії та рудогенезу (ІГМР) НАН України (м. Київ), Львівського державного університету та ін.

В історії вивчення алмазоносності України об'єктивно склались п'ять головних етапів [1-6], що відрізняються набором методів робіт, що проводились та їх результатами. Згідно цих етапів наведені дані про результати досліджень в межах південно-східної частини УЩ.

**Перший етап – 1951-1955 рр.** – характеризує початок пошукових робіт на алмази: проводились опробування алювію відносно крупних водотоків і дослідження магматичних порід основного і ультраосновного складів окремих регіонів УЩ в напрямку до проблеми алмазоносності. Ці роботи виконувались, в основному, Центральною експедицією 3-го Головного геологічного управління МГ СРСР (С.В. Поспелов, В.Я. Прозоров, В.А. Єфремова, І.Н. Сафронов, Н.А. Курильова та ін.).

Обґрунтуванням для початку пошукових робіт алмазів на Україні була ідея про віднесення південно-західної околиці Східноєвропейської платформи до потенційно алмазоносної провінції. Цьому сприяли висновки М.П. Семененка про омоложення структур обрамлення цієї платформи в рифейно-нижньопалеозойський час. Подаючим надію фактором на користь існування кімберлітів в межах України є встановлений в різновікових відкладах мінеральний парагенезис алмаз-піроп, котрий властивий всім алмазоносним провінціям світу. Основним методом проведення пошукових робіт було опробування руслового та терасового алювію, в основному, на ділянках розвитку основних і ультраосновних порід. За період з 1951 по 1955 рр. була обстежена східна частина Приазов'я, територія Запорізької та Донецької областей (басейни рік Обіточної, Вовчої, Саксагані, Інгульця, Базавлука, Південного Бугу та Тетерева). Були встановлені пункти розвитку алмазів у алювіальних відкладах цих рік.

**Другий етап – 1956-1974 рр.** – відзначився широким застосуванням піропової зйомки основного методу оцінки перспективності площ, а також флотаційного методу збагачення шліхів і пінної сепарації для вилучення дрібних алмазів, що дозволило виявити багаточисельні дрібні кристали алмазів в неогенових титан-цирконієвих розсипах України.

В 1966-71 рр. на території Побужжя, Північного Причорномор'я та Середнього Придніпров'я Новомосковською ГРЕ (Е.Г.Кронгауз, А.С.Астраханцева) виконані пошуки алмазів в алювіальних відкладах. Використовувалось буріння свердловин, проходка шурфів, шліхове опробування. Алмази та їх супутники (піропи) знайдені в сучасному і древньому алювії Дністра, Південного Бугу, Дніпра, Кодими, Інгула, Орелі, Ворскли, Самари, в пляжних пісках північного узбережжя Чорного моря, Дністровського, Бузького і

Дніпровського лиманів, в неогенових пісках балтської світи і сарматського ярусу, у відкладах самарської світи нижнього карбону. Підвищені концентрації дрібних алмазів констатовані на ряді дільниць прибережно-морських пісків полтавської серії і сарматського ярусу. Ці відклади з розривами протягуються широкою смугою від верхів'їв р. Вовчої через Середнє Придніпров'я до верхньої частини р. Росі. На лівобережній Україні декілька південніше вказаної

смуги в гравелітистих пісках сармату відмічені знахідки алмазів та піропів. В середній і нижній течії р. Південний Буг також знайдені ці мінерали. В міжріччі р. Дністра та Південного Бугу алмазами з піропами насичені пісковиково-галечниково-гравійні відклади балтської світи. В устях р. Дунаю і в пляжних відкладах Чорного моря виявлені дрібні (0,1-0,7 мм) кристали алмазу в асоціації з піропом (грубозернисті піски).

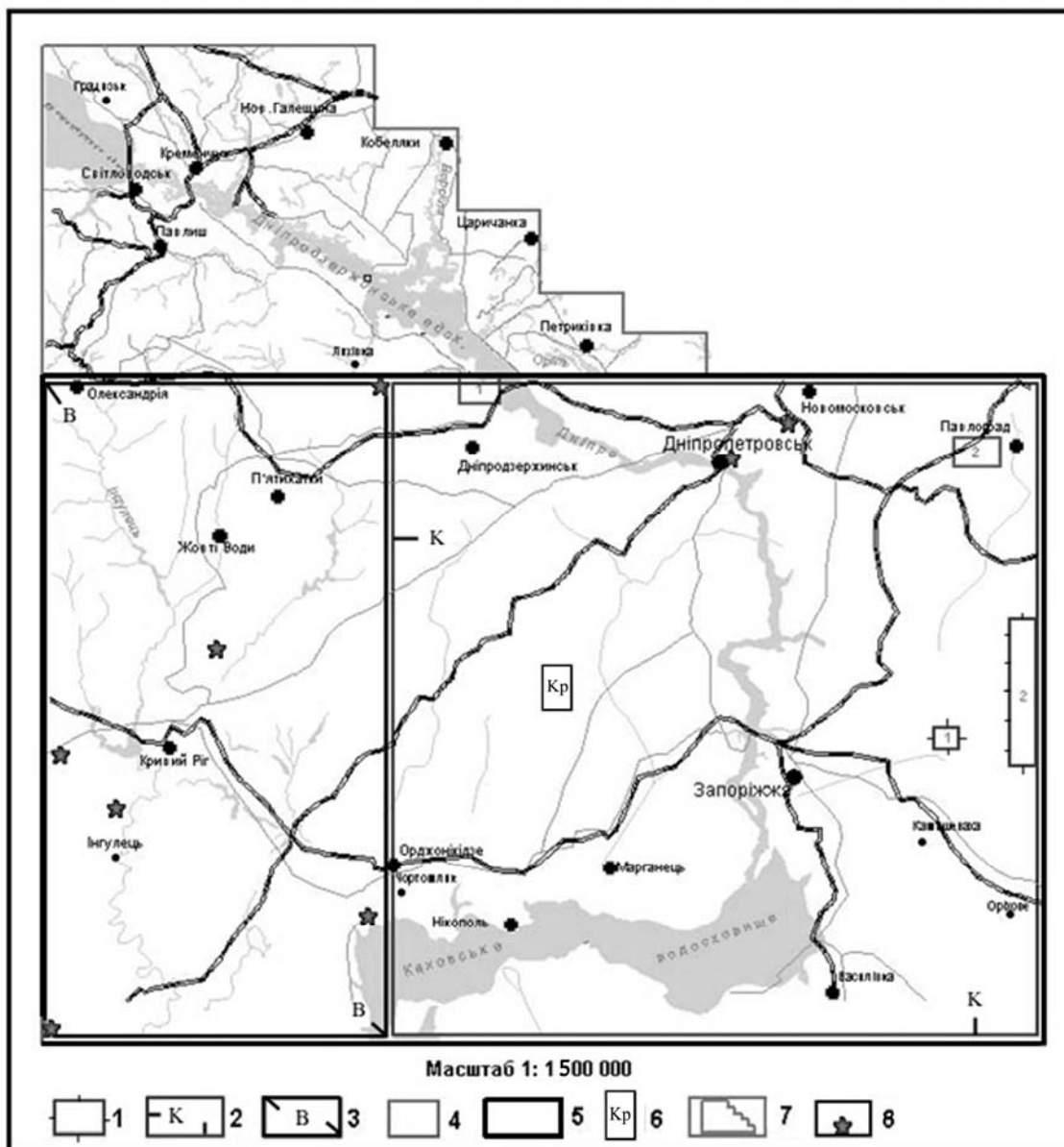


Рис. 1. Оглядова схема проведених досліджень по проблемі алмазонасності Середнього Придніпров'я: 1 – ділянки пошукових робіт 1975-1977 рр.: 1. Мирнолюбівська, 2. Покрівська; 2 – Контур площі, по якій складена прогнозна карта алмазонасності М 1: 200 000 (Е.Г.Кронгауз, 1977 р.); 3 – Контур прогновної карти М 1: 200 000 (на алмази) по Криворізько-Кременчуцькій зоні глибинних розломів (І.І. Вербицький, В.І. Цигуль, 1978 р.); 4 – Ділянки робіт на пошуки алмазів в 1978-1981 рр. (А.В. Дюков): 1. Смотканська, 2. Терсянська; 5 – Контур площі прогнозу корінної алмазонасності 2000-2003 рр. (Р.Я. Ківелюк, В.Ю. Коваленко, П.Г. Пігулевський); 6 – Контур ділянки прогнозу кімберлітового магматизму М1:50000 в межах Середнього Придніпров'я (П.Г. Пігулевський, В.М. Кічурчак, 2005 р.); Кр – Криничуватська; 7 – Контур площі прогнозу кімберліт-лампроїтового магматизму за геолого-геофізичними даними в 2005-2008 рр. (П.Г. Пігулевський, В.М. Кічурчак); 8 – Місця знахідок алмазів

У Середньому Придніпров'ї опробувані долинні відклади р. Дніпра, його лівих та правих притоків. В алювії р. Псьол в 9 пробах знайдено слабо окатаний циркон. В пробах р. Ворскли виявлена дистенільменіт-гранатова асоціація (рутилу до 14,7%) з одиничними знаками піропу, в 2-х пробах кількість його зерен досягає 100. По р. Самарі і Вовчій характерна ільменіт-гранат-дистенова асоціація. В 12 пробах сучасної пойми р. Вовчої знайдені піропи (до 10 знаків). В 1 пробі з устя р. Самари виявлено 1 зерно (0,3 мм) алмазу. Гранат (одинокі зерна) знайдено в пробах р. Базавлук. В пробі руслових відкладів Дніпра в районі острова Монастирський виявлено 8 кристалів алмазу. Підтверджена наявність алмазів в сарматських прибережно-морських пісках. Для сучасного алювію Дніпра характерна однорідність, присутність дрібних неокатаних зерен піропу (від 1 до 25 знаків на 20 л початкової проби). В пісках сармату встановлена підвищена кількість дрібних (0,15-0,25 мм) алмазів. Вперше алмази на Самотканському родовищі встановлені в 1964 р. робітниками ІМРУ. Приблизно тоді ж алмази встановлені на Вовчанському родовищі. В ІМРі вивчена 3-тонна проба пісків з цього родовища, із якої здобуто 265 зерен алмазів загальною вагою 2,4 мг при розмірі зерен 0,3-0,36 мм. Алмази річок Вовчої та Самоткані є аналогічними. В 1 пробі (пісковики, аргіліти, вапняки з прошарками кам'яного вугілля верхнього візею та намюру) знайдено 2 кристали алмазу (0,3-0,35 мм) жовтого і зеленого кольорів. Тут же відмічаються альмандин, хроміт, турмалін, циркон, ільменіт, лейкоксен, пірит, одинокі знаки піропу, епідоту, шпінелі, мусаніту. Тим самим встановлена верхня вікова межа розвитку алмазів в цьому районі (сарматський ярус). Це дозволило зробити висновок про докарбонівий вік кімберлітового магматизму.

В 1974 р. (Е.Г. Кронгауз та ін.) на Верхньоконкській ділянці оцінено 3 кільцеві магнітні аномалії. По Драгунській аномалії (8 свердловин) виявилось, що вона обумовлена штоками монзонітів. На південній околиці с. Кінські Роздори по 10 свердловинах аномалія обумовлена слюдисто-роговообманковими перидотитами підвищеної лужності. В витоках р. Мокрої Сури трьома свердловинами розбурена третя магнітна аномалія, вона пов'язана з лужними породами – сієнітами. Таким чином, всі 3 субкільцеві структури пов'язані з породами підвищеної лужності.

**3 третім етапом – 1975-1990 рр.** – пов'язана інтенсифікація пошуків кімберлітових тіл. Головними методами стали повітряна і наземна магніторозвідка в комплексі з гравірознавкою і бурінням інтерпретаційних свердловин по завірці локальних аномалій „трубчатого” типу і шліхове опробування сучасного руслового алювію і різновікових товщ осадового чохла. Проводилось поглиблене вивчення складу і властивостей мінералів-супутників алмазу – піропів, хромшпінелідів, пікроільменітів та ін. При прогнозуванні використовувались аерокосмогеологічні та петрологічні методи досліджень. На цьому етапі виконувались прогнозні оцінки як крупних територій, так

і локальних ділянок, визнаних безперечно перспективними на основі знахідок кімберлітів і продуктів їх руйнування (ділянки Кухотська воля, Серхів, Перекал'є на Волино-Подолії, ділянки Петрівська, Гірняцька, Новоласпинська та інші в Східному Приазов'ї).

У 1975-77 рр. Новомосковська ГРЕ (Е.Г. Кронгауз та ін.) виконала великий обсяг робіт на пошук алмазоносних кімберлітів на східній частині УЩ, узагальнено матеріали і складено прогнозні карти масштабу 1: 200 000 (рис. 1). Бурінням (25 свердловин) оцінювалися близькільцеві структури, котрі виділені по аерофотознімках і магнітних картах на основі тектоно-магматичних, геофізичних і геохімічних критеріїв, знахідок алмазів та їх генетичних супутників (піропів і пікроільменітів) виділені перспективні зони для пошуків корінних алмазів. На розсипні алмази, на думку авторів, становлять інтерес прибережно-морські і алювіальні відклади бучацької серії, нижнього міоцену (полтавська серія) і четвертинної системи. Для виявлення корінних джерел алмазів виділено 4 перспективні зони: зона стикування північно-східного схилу УЩ і ДДЗ, зони Покрово-Девладівського, Конкського і Оріхівсько-Павлоградського розломів. Перша зона довжиною приблизно 200 км простягається від Дніпродзержинського розлому на заході до Щербаківсько-Михайлівського – на сході, включає прояви ультраосновних порід та їх похідних, Малотерсянський лужний масив, площадні геохімічні аномалії хрому. Друга Покрово-Девладівська зона має палеоархейський час закладення, виділена повздовж широтного одноіменного глибинного розлому від Чортомлицької структури на заході до Щербаківсько-Михайлівського розлому на сході. На заході зони фіксуються масиви перидотитів (Г.М. Карпов, 1957) і змінених перидотитів (О.А. Зайцев, 1969), невеликі аномалії хрому та міді. В ультраосновних породах Чортомлицької і Кудашівської структур виявлений хромпікотит (Н.М. Гаєва, 1972). Далі на схід цієї зони відмічаються тіла ультраосновних порід та їх похідних, площинні літогеохімічні аномалії хрому, нікелю та кобальту. Третя субширотна зона пов'язана з Конкським глибинним розломом. На заході вона відокремлена Криворізько-Кременчуцьким, а на сході – Павлоградсько-Куйбишевським глибинними розломами. В її межах спостерігаються найбільш цікаві вузли – місця перетину Конкського, Оріхівсько-Павлоградського, Дніпродзержинського і Азово-Павлоградського глибинних розломів. До нього приурочена більшість масивів ультраосновних порід, в тому числі – із гранатом. Особливо велика концентрація тіл перидотитів відмічається на схід від Оріхівсько-Павлоградської шовної зони. Тут же відмічаються своєрідні піроксен-олівінові породи із порфіровою структурою (М.І. Лебедев, 1966). Просторово ультраосновні породи пов'язані з карбонатитами, монзонітами і шонкінітами. В неогенових пісках і річковому алювії наявні знахідки алмазів і піропу. В особливу, четверту, зону виділена смуга Оріхівсько-Павлоградського розлому північно-східного простя-

гання, де проявлені магматичні породи основного, ультраосновного та лужного складів. Зона носить регіональний характер, простягається за межі ділянки, двічі перетинається з субширотними розломами. В південній частині зафіксована Михайлівська гравітаційна аномалія, в східному обрамленні якої знаходяться масиви піроксенітів та сієнітів (Старобогданівський масив). Поблизу Азово-Павлоградського глибинного розлому відмічено масив карбонатизованих дунітів, котрий складений олівіном (ультрабазит за В.В. Стадниченко). В найбільш звуженій центральній частині зони відмічаються катаклазовані перидотити, метагабро з вмісткістю гіперстену до 40% (В.Ф. Кітченко, 1972). Автором роботи (А.В. Дюков, 1981) рекомендовано виконання пошуків алмазів на семи найбільш перспективних ділянках: Самотканській, Орільській, Терсянській, Вовчанській, Покровській, Орхівській, Західноприазовській.

В 1978-81 рр. Новомосковською ГРЕ (А.В. Дюков) продовжено шліхове опробування гідросітки по Західноприазовській площі і оцінку бурінням ізометричних магнітних аномалій на Самотканській, Терсянській, Вовчанській і Покровській ділянках. Пробурено 108 свердловин колонкового буріння (6 207,3 пог. м) і 387 свердловин ударно-механічного буріння (1504,1 пог. м), якими розкриті гнейси, граніти, рідше амфіболіти, габро, ультраосновні породи, скарноїди. Вивчено 394 проби на мінералогічний аналіз. На Західноприазовській ділянці виявлені ореоли розсіювання піропів, в одиночних пробах знайдені дрібні алмази, хромдіюксид, пікроільменіт. Виділена площа можливого виявлення корінних алмазоносіїв, реальних кімберлітів та лампроїтів не знайдено.

В 1982-85 рр. Новомосковською ГРЕ (А.В. Дюков) виконані загальні пошуки алмазів в Придніпров'ї, поблизу його кордону з Конксько-Яланською западиною у витоках річок Конки, Малої Токмачки, Камінки. Роботи виконувались з геофізичною основою М 1:10 000 на 3 ділянках Семенівській, Верхньокамінській та Куйбишевській, в межах яких пробурено 70 свердловин (4 354,5 пог. м). Для деталізації ореолів розсіювання піропів пройдено 234 свердловини (1778 пог. м) проаналізовано 555 проб. На Куйбишевській ділянці по рр. Конка і Суха виявлені одиночні знаки піропів і альмандино-піропів, а в витоках р. Камінки – 1 зерно зеленого алмазу. На Семенівській ділянці (р. Мала Токмачка) в 17 свердловинах зустрінуті різноманітні породи – гнейси біотитові, амфіболіти, монцоніти, скарноїди, піроксеніти. Верхньокамінська ділянка знаходиться у верхів'ях р. Конки, вона складена товщою кристалосланців та гранітоїдами. Ця товща прорвана інтрузіями кислих, основних і ультраосновних порід. Тут проходить Сорокінська тектонічна зона. Раніше (1972) в її межах було знайдено 2 кристали алмазу (0,2 × 0,3 мм), в 16 пробах виявлені піропи, одиночні знаки пікроільменіту. При перевірці магнітної аномалії виявлено Конкський шток амфіболових пе-

ридотитів. В 1978-81 рр. тут було розкрито тіло базальтових порфіритів з ділянками еруптивних брекчій. Ізометрична магнітна аномалія (500-1000 нТл) обумовлена штокоподібними тілами ультрабазитів (перидотитів, піроксенітів, серпентинітів), або базальтових порфіритів. Локальні перетини зниження магнітного та гравітаційного полів пов'язуються з лужним метасоматозом (сієніти, граносієніти, альбітити). На лівому березі р. Драгунки виділено 9 аномалій трубчатого типу, які припустимо пов'язані із штоками ультрабазитів. Вивчення хімізму алмазів Західного Приазов'я показало їх близькість до метаморфогенних алмазів Кокчетавської глиби Казахстану. Продуктивні породи – еклогіти, гранатові піроксеніти і амфіболіти, карбонатні породи з піроксеном і гранатом, флогопітом, графітові гнейси. Прояви алмазів пов'язані із зонами тектонічної активізації і магматизму. В 63 пробах таких порід (початковою вагою по 2 кг) алмазів не виявлено.

По Криворізько-Кременчуцькому району в 1976-78 рр. (В.І. Вербицький, В.І. Цигуль) виконана велика робота по узагальненню геолого-геофізичних матеріалів і пошуках кімберлітів. Охвачена смуга від с. Царичанка на півночі до с. Олександрівки на півдні і від с. Долинське на заході до меридіану Верхньодніпровська – на сході. По цій території побудована прогнозна карта алмазності М 1: 200 000. Пробурено 16 пошукових свердловин на локальних докембрійських структурах прояву лужно-ультраосновного вулканізму. До цього в свердловині № 16184 та № 16186 в Західноінгулецькій зоні була зустрінута еруптивна брекчія, яка “подібна Якутським”. По Казанківській зоні були відкриті штоки ультраосновних порід. Перші знахідки алмазів в цьому районі пов'язані з геоморфологічними роботами 1952 р., які були виконані 3-м геологічним управлінням. В неогенових пісках долин р. Саксагані був знайдений уламок кристалу алмазу, а в районі с. Мар'янівки – 3 його зерна. В 1970-74 рр. в Західно-Інгулецькій зоні буріння КГК зустрінуті еруптивні брекчії ультраосновних порід, в яких знайдено 1 зерно алмазу без мінералів супутників. В наступні роки (1974-75) в зоні стикування ДДЗ і УЩ алмаз був знайдений в асканійських пісках (св. № 16534). При складанні карт прогнозу М 1: 200 000 використані пошукові ознаки: периферійні зони виступів кристалічного фундаменту, основні елементи розривної тектоніки, прояв ультраосновних і лужних порід, літогеохімічні аномалії нікелю, кобальту, хрому, ніобію. До непрямих ознак віднесені брекчієподібні структури порід, мінерали-супутники – гранат, хроміт, шпінель. Всього намічено 5 перспективних зон, які пов'язані з глибинними розломами: Західноінгулецькою, Казанківською, Девладівською, Південнокриворізькою, Нікопольською, Високопільською. В межах цих зон виділено 26 перспективних ділянок, намічена черговість проведення на них пошукових робіт. Проявів кімберліт-лампроїтового магматизму цими роботами не встановлено.

**Четвертий етап** розпочався в 1991 р., основний обсяг робіт перемістився на північну частину Східноприазовського блоку. Здійснювалося завірення бурінням магнітних аномалій (перевірено 230 аномалій), в результаті у 1990 р. відкриті кімберлітові трубки “Надія”, “Південна”, пізніше (1993-94) – “Новоласпинська”. В 1998 р. дайка кімберлітів встановлена на східному фланзі трубки “Південна”. Цими відкриттями визначилось виявлення Приазовської кімберлітової області. У пошуках алмазів в межах району брали участь геологи М.Ф. Стрекозов, А.А. Колодько, С.І. Кисіль, О.П. Князьков, В.Г. Лацько, геофізики Ж.Г. Мальмет, В.С. Зверев та інші.

Прояви кімберлітоподібних порід і алмазів в цьому районі вперше згадані в 1999 р. в публікації співробітників Криворізького науково-дослідного гірничорудного інституту і технічного університету В.Г. Близнюкова, І.С. Паранько та ін. [6]. Виконані ними структурно-мінералогічне картування Тернуватського і Аннівського кар’єрів Північного ГЗК і підземне геолого-структурне картування в шахті Першотравневого ЗРК підтвердило ендегенний генезис алмазів і дозволило оцінити перспективи їх попутної розробки. Рудні поля цих об’єктів знаходяться в межах Придніпровського кратону і розташовані в зоні перетину Криворізько-Кременчуцького і Девладівського глибинних розломів. Алмазоносні породи тут складають дайки потужністю від декількох см до 10 м і трубоподібне тіло (східний борт Тернуватського кар’єру). Вміщуючими їх породами є залісті кварцити саксаганської світи криворізької серії. В кімберлітоподібних породах, еруптивних та туфогенних брекчіях встановлені алмази (0,1-0,8 мм), піропи (0,2-0,3 мм до 1-2 мм), ільменіт (0,2-2 мм), муасаніт. Вміст алмазів в деяких різновидностях порід перевищує 7 карат на тонну, в середньому складає 3 карати на тонну породи. Можливе попутне добування алмазної сировини. Тернуватська структура згадується і в роботі Е.П. Гурова та Е.П. Гурової з позиції її імпактного походження. Відмічено, що діаметр структури становить 6 км, вона має центральне підняття, породами мішені є кристалічні породи, метеоритна речовина не встановлена. Вік  $280 \pm 10$  млн. років, астропроблема повністю еродована, розкриті деформовані породи під дном кратеру. Останні два моменти не відповідають дійсності. Вулканічне походження Тернуватської структури признане в роботі В.В. Захарова та ін. (1998), де вказується на їх андезитовий, трахіандезитовий склад, палеозой-мезозойський вік, приналежність до розгалуженої сітки тектонічних зон, де вона “утворює складної форми вулканічну побудову”. На поверхні вона має розміри  $800 \times 500$  м, конусоподібно розширюється з глибиною. На глибині 1000 м побудова простежена в гірничих виробках, а також свердловинами, та має розміри  $2500 \times 700$  м і більше. Центральна її частина знаходиться в межах контуру вулканічної побудови. Складена вона лавами, часто пузирчастими, серед яких по периферії розвинуті переважно андезити. В центральній частині

переважають трахіандезити, рідко базальти, тобто вулканічна побудова несе сліди зональної. Від її краєвої частини повздовж тектонічних зон розвинуті лавобрекчії та експлозивні брекчії разом з тектонічними брекчіями. В складі порід відмічено наявність польових шпатів, кварцу і серпентину, гранатів альмандин-гросулярового ряду, муасаніту, шпінелі, піжоніту, циркону і високобаричних мінералів (коеситу і спіліовіту). В експлозивних брекчіях, крім глиб і уламків порід криворізької серії (графітових сланців, залістих кварцитів і амфіболітів), а також підстеляючих плагіогранітів, зустрічаються уламки пузирчастих лав. Наявність в породах високобаричних мінералів планарних елементів вказує на вибухове походження вулканічної побудови. За хімічним складом і вмістом елементів утворення Тернуватської структури найбільш близькі до андезит-трахітового комплексу Донбасу.

**П’ятий етап – узагальнення результатів досліджень.** На сучасному етапі вивчення проблеми алмазоносності південно-східної частини УЩ велика увага приділяється аналізу і узагальненню результатів проведених пошукових, науково-дослідницьких і тематичних робіт, розробці геолого-геофізичних критеріїв виявлення перспективних на алмази районів розвитку кімберлітового і лампроїтового магматизму.

В 1985 р. колективом працівників Сімферопольського ІМРУ під керівництвом Г.І. Смирнова виконана велика і важлива робота по складанню “Карти алмазоносності України і Молдавії” М 1:500 000. Вона вміщує загальну інформацію про розташування та формаційну належність алмазопроявів, їх вік, структурне положення і т. і. На карті показані літологічний та фаціальний склад перспективних відкладів. Для УЩ прийнятий домезозойський склад перспективних відкладів, відмічені розломи і кільцеві структури, фігурними знаками показані знахідки алмазів і мінералів супутників, їх вмістність, розміри, обкатаність і т. і. Ступінь перспективності районів на алмазоносність різного генетичного типу відбита штрихами і римськими цифрами різного кольору. Використані “Легенда до комплексу металогенічних карт СРСР”, ВСЕГЕІ, 1978р., методичні вказівки Р.Н. Валяєва, 1974р., Е.Т. Шаталова, 1969 р., Л.С. Галецького, 1971р. та інші. Використані також останні металогенічні, тектонічні, геологічні карти по Україні і Молдавії. На карту винесені дані про поверхню Мохорвичича. Особливо виділені прояви кімберлітів на території Волинського і Приазовського блоків, лужно-базальтоїдних і лужно-ультраосновних утворень, трапових формацій Волино-Подольської плити і зони стикування Приазов’я і Донбасу. В окрему формацію виділені лужно-земельні та лужні комплекси, комагматичні кімберліти Приазовського блоку, Чернігівської зони і Покрово-Київської структури. Проведений аналіз дозволив виділити на “Карті прогнозу...” перспективні території на корінну (кімберліт-лампроїтовий і матаморфогенний тип) і розсипну алмазоносність і намітити напрямки геолого-пошукових робіт та їх стадійність.

В 1999 р. колективом авторів (Ю.В. Гейко, Т.С. Нецаєва, Л.І. Ликов та ін.) під редакцією Д.С. Гурського, В.С. Металіди, В.Л. Приходько видана «Карта перспектив алмазоносності України». Вся її територія поділена на архони з віком консолідації 2,5 млрд. років, реомобілізовані в палеопротерозої та інтенсивно реомобілізовані в палеопротерозої. Виділена також Волино-Подільська плита, Дніпровсько-Донецький авлакоген та Причорноморська западина. Відображені зони глибинних розломів з поділом їх на мантийні, мантийно-корові, нанесені лінії ізоглибин Мохоровичича, ізолінії теплового потоку та ін. Також відмічені прояви кімберлітового та лампроїтового магматизму, знахідки алмазів з поділом їх за генетичними та віковими ознаками. За сукупністю всіх даних відмічені перспективні райони і площі. Переважаюча територія Середнього Придніпров'я (головним чином його північно-західна частина) виділена як перспективний район для пошуків алмазоносних кімберлітів та лампроїтів.

В 2000 – 2003 рр. тематичною групою ПОІМ ДГЕ «Дніпрогеофізика» була виконана «Прогнозна оцінка корінної алмазоносності Середнього Придніпров'я в масштабі 1:200 000 за допомогою геофізичних методів» (Р.Я. Ківелюк, В.Ю. Коваленко, П.Г. Пігулевський). В підсумку складена «Карта результатів прогнозу корінної алмазоносності Середнього Придніпров'я М 1:200 000 за геофізичними даними». Всього із застосуванням АПС ГІС «РАПІД» в Середньопридніпровському мегаблоці УЩ виділено 90 перспективних ділянок. За геологічними умовами та геофізичним розташуванням ділянки об'єднані в 16 областей перспективності, на яких рекомендовано виконати прогноз корінної алмазоносності М 1:10000 – 1:50 000.

В 2003 – 2005 рр. в ДГЕ «Дніпрогеофізика» виконана «Прогнозна оцінка кімберлітового магматизму М 1:50 000-1:25 000 окремих ділянок Середнього Придніпров'я і Західного Приазов'я» (П.Г. Пігулевський, В.М. Кічурчак).

За результатами виконаних робіт були отримані карти оцінки перспектив проявів кімберлітового і лампроїтового магматизму в межах Криничуватської (рис. 1) та Андріївської площі М 1:50 000 (Західне Приазов'я). На них винесені прогнозні контури за даними прогнозуючої системи ГІС «РАПІД» і основні ознаки за результатами якісної інтерпретації геолого-геофізичної інформації та ймовірного прояву тіл кімберлітового і лампроїтового магматизму, на підставі яких дана оцінка перспектив можливої алмазоносності цих площ.

В межах площ досліджень проявлених основний і ультраосновний магматизм архейської та протерозойської епох тектоно-магматичної активізації. У вузлах їх перетинання, як найпроникніших, намічена 91 перспективна ділянка (I, II, III) класів перспективності.

В межах Андріївської площі буровими роботами Приазовської комплексної геологічної партії в 2007-2008 рр. було розбурені 12 перспекти-

вних аномалій, в 5 з яких отримані кімберліто-подібні породи та знайдені дрібні кристали алмазів.

В 2005 – 2007 рр. в ДГЕ «Дніпрогеофізика» виконана «Прогнозна оцінка кімберлітового магматизму північної частини Середньопридніпровського блоку за допомогою геофізичних методів М 1:200 000» (П.Г. Пігулевський, В.М. Кічурчак).

Площа (див. рис. 1) охоплює північну частину Інгулецько-Криворізької шовної міжблокової зони та північно-західну частину Середньопридніпровського мегаблоку (зони стикування цих структур з Дніпровсько-Донецькою западиною) – аркуші М-36-XXVIII; М-36-105-В; 117-А,Б,В,Г; 118-В,Г-а,в.

В межах площі корінні ендегенні джерела алмазів поки що не встановлені, але, за даними петрофізичних та петрологічних досліджень, доведено, що в ній наявні кімберлітоподібні ультраосновні породи. Повздовж північної окраїни Середньопридніпровського мегаблоку в зоні стикування з ДДЗ протягується смуга поширення алмазоносних ільменіт-цирконієвих розсипищ в неогенових прибережно-морських відкладах. У цьому ж районі в алювіальних відкладах зустрічається мінерал-супутник алмазу – піроп.

Глибинні геофізичні дослідження показують, що докембрійський фундамент площі досліджень належить до структур розтягу (зона стикування УЩ з ДДЗ), котра, за даними М.П. Семененка та ін. (1979 р.) по геолого-тектонічній позиції є потенційно алмазоносною. Попередні детальні геофізичні дослідження показують, що в межах території наявні перспективні гравімагнітні аномалії, які, вірогідно, відбивають утворення кімберліт-лампроїтового складу.

За результатами прогнозу ймовірних проявів кімберлітового магматизму за допомогою геофізичних методів та прогнозуючої системи ГІС РАПІД виділено 57 прогнозних контурів ділянок I, II та III черг перспективності. Серед них 9 першої, 20 – другої та 28 – третьої.

В колективній монографії авторів (Ю.В. Гейко, Д.С. Гурський, В.М. Приходченко та ін., 2006) «Перспективи коренної алмазоносності України» авторами [1] реалізовано системний підхід до аналізу та переінтерпретації всіх наявних на теперішній час матеріалів по проблемі алмазоносності України.

Розроблені методологія прогнозування алмазо-перспективних об'єктів, що враховує особливості геологічної будови і ступінь вивченості регіону на алмази, а також концепції та фактори прогнозування родовищ алмазів в інших алмазоносних провінціях.

Проведено структурно-тектонічне районування території досліджень, визначено ієрархічний ряд геологічних об'єктів прогнозу. До таких відносяться алмазоперспективні об'єкти першого рангів: I – мінералогічні області або літосферні блоки; II – райони або ареали передбачуваного алмазоносного магматизму; III – перспективні площі або потенційно алмазоносні поля.

Виделені шість літосферних блоків (архони – Середньопридніпровський, Приазовський, Бузько-Росинський, Подільський і протони – Волинський, Кіровоградський).

На думку авторів, одним із найбільш перспективних об'єктів для виявлення алмазоносних кімберлітів за комплексом загальноприйнятих факторів, критеріїв та ознак є Середньопридніпровський блок – типовий архон, північна частина якого розташована в зоні впливу ДДЗ. Для оцінки реальної його перспективності необхідно виконати підготовку геолого-геофізичних матеріалів і прогнозування в М 1:500 000 – 1:200 000 продуктивних структур для постановки спеціалізованих пошукових робіт, зокрема вивчення характеру поширення індикаторних мінералів у відкладах осадового чохла шліховим опробуванням.

**Висновки.** На жаль, на сьогоднішній день промислові родовища алмазів у південно-східній частині УЩ, а також, в цілому в Україні не виявлені. Автори розуміють всю складність проблеми пошуків корінних джерел алмазів в межах УЩ, але, разом з іншими дослідниками цієї проблеми [1-6], вважають необхідним відмітити низку причин низької ефективності пошукових робіт.

Геологозйомочні роботи і ГГК-50, за рідким винятком, супроводжувались невеликими об'ємами шліхового і, тим більше, малооб'ємного опробування базальних горизонтів осадового чохла, що робило неможливим дати навіть попередню оцінку перспективам алмазоносності закартованих площ.

Великооб'ємні проби на території південно-східної частини Українського щита відбирались, головним чином, на перших етапах робіт і переважно для пошуків розсіпів. При піроповій зйомці, для перевірки перспективних ореолів індикаторних мінералів і алмазів цей метод опробування не застосовувався. В кращому випадку відбирались малооб'ємні проби.

Досить низькою залишається також вивченість розсіпної алмазоносності; при вивченні розсіпної і корінної алмазоносності не витримувалась чітка послідовність чи стабільність робіт (за виключенням робіт на перспективних площах четвертого етапу).

Головний метод пошуку корінних джерел алмазів (останній етап досліджень) – виявлення і вивчення локальних ізометричних магнітних аномалій, ідентифіційних з кімберлітовими тілами, в переважній більшості випадків не дав очікуваного ефекту, що можна пояснити і невдалим вибором районів пошуків, і недосконалістю методів розпізнавання та оцінки аномалій. Район пошуків виділявся при регіональному прогнозі, без проведення попередніх робіт по цілеспрямованому вивченню осадового чохла з необхідними літолого-фаціальними побудовами.

Як правило, для підтвердження бурінням вибирались високоінтенсивні (більш 500 нТл) і середньоінтенсивні (від 100 до 500 нТл) локальні магнітні

аномалії трубчатого типу розміром в перші сотні метрів в поперечнику або лінійні – в декілька десятків метрів по ширині, що, ймовірно, відповідають такому ж рівню параметрів аномалієвірних об'єктів. Відомо, що такі параметри великі для кімберлітових тіл, тим більше для умов глибокої ерозії об'єктів пошуку. Для виявлення слабоінтенсивних і незначних за розмірами магнітних аномалій необхідно проведення в великих об'ємах високоточної магнітної зйомки масштабу 1:10 000 з наступною деталізацією виявлених аномалій наземною зйомкою масштабу 1:5 000 – 1:1 000.

Локальні геофізичні аномалії в більшості випадків завірялись однією свердловиною. Крім того, не завжди використовували комплексування геофізичних методів (магніторозвідувальних з гравірозувальними і електророзвідувальними) при деталізації аномалій. Це не дозволяло з достатньою точністю визначити їх центральні частини з урахуванням вектора намагнічення в умовах приблизно рівного співвідношення глибин залягання об'єктів та їх розмірів, як результат – можливий пропуск кімберлітових тіл.

#### Список літератури

1. Перспективы коренной алмазоносности Украины / Гейко Ю.В., Гурский Д.С., Лыков Л.И. и др. Киев – Львов: Изд-во «Центр Европы». – 2006. – 200 с.
2. Калинин В.И., Пигулевский П.И., Слободенюк С.А. К проблеме поисков алмазов в Среднем Приднепровье (глубинное физико-тектоническое районирование) // Наук. вісник НГАУ. – 2001. – № 4. – С. 108-109.
3. Структурно-тектоническое районирование потенциальной алмазоносности территории Украины / Князев Г.И., Гурский Д.С., Тарасюк О.Н. и др. // Мінеральні ресурси України. – 1999. – № 3. – С. 42-44.
4. Свистун В.К., Пігулевський П.Г., Кічурчак В.М. Про глибинну будову зони стикування Середньопридніпровського геоблоку УЩ із ДДЗ у зв'язку з перспективами її алмазоносності // Стан, перспективи та напрямки геологорозвідувальних робіт на алмази в Україні (Матеріали науково-технічної наради, Київ, 19-22 травня 2003 року). – К., 2003. – С. 65-67.
5. Алмазоносные формации и структуры юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы / Яценко Г.М., Гурский Д.С., Сливко Е.М. и др. Опыт минерации алмаза. – К.: УкрГГРИ, 2002. – 331 с.
6. Геолого-минералогические предпосылки алмазоносности Терновской структуры Кривбасса / Близиюков В.Г., Паранько И.С., Плотников А.В., Бондарчук С.Б. // Прогнозирование и поиски коренных алмазных месторождений: Тез. докл. Международной научно-практ. конф. Симферополь – Судак, 21-23 сентября 1999 г. – Симферополь, 1999 – С. 16-18.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. В.Ф. Приходченком 21.09.09*



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ РЕГИОНАЛЬНОЙ ЗАСТРОЙКИ

На прикладі регіону видобування та первинної переробки уранової сировини показана можливість використання геолого-геофізичних даних для вирішення житлової проблеми, комплексного розвитку соціальної та інженерно-транспортної інфраструктури, захисту і оздоровлення екологічного простору. Розроблена формалізована процедура визначення просторової пріоритетності регіональної забудови.

На примере региона добычи и первичной переработки уранового сырья показана возможность использования геолого-геофизических данных для решения жилищной проблемы, комплексного развития социальной и инженерно-транспортной инфраструктуры, защиты и оздоровления экологического пространства. Разработана формализованная процедура определения пространственной приоритетности региональной застройки.

The opportunity of use of geological – geophysical data for the decision of housing problem, complex development of social and engineering-transport infrastructure, protection and improvement of ecological space is shown on the example of region production and primary processing of uranium raw material. The formalized procedure of definition a spatial priority of regional building is developed.

**Введение.** Для районов и городов Днепропетровской и Кировоградской областей, которые испытали в прошлом, испытывают сейчас или испытают в будущем эколого-экономическое влияние объектов ядерно-топливного цикла, разработана Государственная программа перехода региона добычи и первичной переработки уранового сырья к устойчивому развитию (утверждена Постановлением Кабинета Министров Украины от 16.12.2004 г. №1691) [1]. Главной целью этой программы является обеспечение полноценной жизненной среды для современного и последующих поколений жителей региона на основе его социально-экономико-экологически сбалансированного развития путем рационального использования всех ресурсов, технологического переоснащения и реструктуризации предприятий, усовершенствования социальной, производственной, транспортной, коммуникационно-информационной, инженерной, экологической инфраструктуры, улучшения условий проживания, отдыха и оздоровления, сохранения и обогащения биологического разнообразия и культурного наследия.

Однако на сегодняшний день развитие населенных пунктов указанного региона, как и всей Украины, характеризуется значительными отличиями в уровнях их социально-экономического развития, несогласованностью ряда законодательных и нормативно-правовых актов градостроительного законодательства, недостаточно четко определенной общегосударственной стратегией развития. Чрезмерное вмешательство государства в региональную политику на протяжении длительного периода времени привело к значительным территориальным диспропорциям экономического развития страны, существенным недостаткам в территориальной организации общества, в системе поселений. Это привело также к ухудшению демографической ситуации в регионе, состоянию занятости, снижения качества жизни насе-

ления, определенной мерой обусловило упадок сельской местности. Поэтому одним из основных направлений научного сопровождения указанной Государственной программы является выполнения научно-исследовательских, поисково-разведочных и проектных работ по оптимизации застройки территории этого региона с учетом ландшафтных, геолого-геофизических, геоэкологических и других особенностей для решения жилищной проблемы, комплексного развития социальной и инженерно-транспортной инфраструктуры, защиты и оздоровления экологического пространства. В свете этого данная статья посвящена вопросу использования геолого-геофизических данных при разработке формализованной процедуры определения пространственной приоритетности региональной застройки.

*Обоснование базовых геофизических показателей качества жизнедеятельности населения и состояния окружающей среды.* В геоэкологии считается, что геофизические поля являются только компонентами (составными частями) геологической среды [2]. Это положение вступает в противоречие с уникальным всепроникающим характером геофизических полей и снижает значение геофизики при решении широкого круга геоэкологических задач.

Геофизические поля являются важнейшим и неотъемлемым фактором окружающей среды на Земле и в Космосе. Важность именно последнего чрезвычайно ёмко определена в [3]. Жизнь нашей планеты, процессы, определяющие «рисунок» ее истории, оказываются отражением (отображением) космических процессов. Между Землей и космосом, таким образом, существует непрекращающаяся информационная связь. И, в частности, точно так же, как ранее возникло представление о новой геохимической среде миграции химических элементов и их соединений в верхних горизонтах литосферы и гидросфере, опережающем адаптацию к ней живых организ-

мов [2], сейчас можно уже говорить и о новом понятии – геофизической среде обитания живых организмов, характеризующейся соответствующим воздействием. Для его количественной оценки разработан перечень базовых показателей их природной и техногенной составляющих – как основа последующего определения суммарного геофизического воздействия [4].

В основу выбора базовых показателей геофизического воздействия положены энергетические параметры. Применительно к решению геоэкологических задач эти воздействия на основании экспертной оценки и общетеоретических соображений могут быть «разранжированы» раздельно для природной и техногенной составляющих по продолжительности, периодичности, масштабности и другим параметрам с последующим бальным суммирование по каждому виду воздействия. Результаты проведения количественной оценки значимости различных видов физического воздействия [4] позволяют выделить базовый набор показателей геофизического воздействия, которыми являются меры чувствительности живых организмов и окружающей среды: 1) акустическая чувствительность; 2) механическая чувствительность; 3) тепловая чувствительность; 4) радиочувствительность; 5) электромагнитная чувствительность. Каждому из этих показателей на основе обобщения количественной и качественной информации поставлены в соответствие его характеристика и значения оцениваемых параметров геофизического воздействия. При этом нормой являются естественные значения изучаемых полей, не вызывающие заметного негативного влияния на окружающую среду, или установленные предельно допустимые уровни. Критическими являются значения рассматриваемых полей, при которых становится заметным его негативное влияние: для человека – состояние дискомфорта или безусловная заболеваемость, для окружающей среды – нижняя граница допустимого воздействия.

Среди природных составляющих геофизического воздействия максимальная бальность соответствует электромагнитному фактору [4]. Поэтому в исследованиях указанного воздействия основное внимание уделяется пространственным вариациям аномального магнитного поля  $T_a$ , многообразное влияние которого на живые организмы постоянно находится в поле зрения исследователей [5, 6]. По степени изменчивости во времени оно подразделяется на постоянное и переменное поля. Величина последнего не превышает 2% величины нормального магнитного поля Земли, но его биологическая значимость очень велика. В тоже время на территории Украинского щита (УЩ) зафиксированы и исследованы крупные магнитные аномалии и аномальные зоны, по амплитуде соизмеримые и даже превышающие величину нормального поля Земли. Отметим что, в исследованиях переменной составляющей магнитного поля  $T_a$  величина его постоянной составляющей является «масштабной» основой учета и исследований пространственно-временных вариаций: чем больше постоянная со-

ставляющая поля – тем менее значимы на ее уровне временные вариации, однако при этом велики горизонтальные градиенты указанной составляющей. В качестве изучаемого параметра  $G_p$  может быть выбран модуль разности максимального и минимального значений поля  $T_a$  в пределах некоторого «скользящего» окна, характеризующий горизонтальную изменчивость постоянной составляющей аномального магнитного поля территории исследований.

В настоящее время сложилась следующая неблагоприятная ситуация – прямые замеры параметров техногенных геофизических полей выполняются только в отдельных точках и «разорваны» в пространстве и во времени. Это не дает возможность оценить пространственную значимость соответствующих видов геофизического воздействия. Поэтому для решения указанной задачи может быть использован опыт определения *показателя техногенной нагрузки* на территорию с использованием информации о параметрах производства и возникающего загрязнения природной среды. Если же, вслед за [7] под загрязнением в наиболее общем виде понимать «все то, что не в том месте, не в то время и не в том количестве, какое естественно для природы», то техногенную часть геофизического воздействия можно отождествить с физическим загрязнением – техногенными изменениями физических параметров среды: тепловых, электромагнитных, шумовых, вибрационных, ионизирующих и других.

Для площадной оценки суммарного техногенного геофизического воздействия каждому промышленному объекту-источнику геофизического воздействия ставится в соответствие его «зона влияния», на внешнем контуре которой величина конкретного геофизического поля не превышает своего критического значения, при котором становится заметным его негативное влияние на человека (состояние дискомфорта или безусловная заболеваемость). Конкретным параметрам производства соответствует оптимальное количество объектов геофизического воздействия, каждый из которых характеризуется своей интенсивностью и зоной влияния на окружающую среду. Таким образом, в каждой точке определяется величина суммарного влияния на качество жизнедеятельности населения различных видов техногенных источников геофизического воздействия. В площадном отношении оценить суммарную величину указанного воздействия позволяет совмещение информации о густоте различных транспортных магистралей с данными о добывающей и обрабатывающей промышленности.

Формально эта процедура выглядит следующим образом. На региональном уровне под техногенной составляющей  $G_t$  предлагается понимать суммарное воздействие транспорта и промышленности, а также техногенное радиоактивное загрязнение с соответствующими весовыми коэффициентами  $K$  [8]

$$G_t = \sum_{i=1}^6 K_i^L \times L_i + \sum_{j=1}^{10} K_j^S \times S_j + \sum_{n=1}^3 K_n^F, \quad (1)$$

где  $L_i$  – протяженность магистралей  $i$ -го вида транспорта (в км);  $S_j$  – доля площади скользящего окна, занимаемая  $j$ -м объектом.

Величины конкретных весовых коэффициентов  $K$  при вычислении суммарного техногенного физического воздействия определены на основании экспертной оценки, а также анализа и обобщения имеющейся разнообразной информации о количестве создаваемых полей, их интенсивностях и зонах влияния (локализации) для каждого вида предприятий (добывающей, перерабатывающей промышленности и транспорта). Конкретные значения указанных коэффициентов применительно к условиям Днепропетровской области обобщены в [8]. Общими положениями, положенными в основу выбора значений этих коэффициентов, были следующие. Для транспорта весовые коэффициенты  $K$  увеличиваются в направлении: линии электропередачи → автодороги → железные дороги – по количеству создаваемых аномалий геофизических полей, а дополнительно для авто и железных дорог – по их территориальному значению с соответствующим интенсивности движения транспорта геофизическим воздействием.

Также с соответствующими коэффициентами (учитывающими локальную повышенную концентрацию транспортных линий) дополнительно суммируются следующие объекты: электростанции и подстанции, аэродромы, железнодорожные узлы, городской рельсовый электротранспорт). Наличие предприятий перерабатывающей промышленности приводит к увеличению весовых коэффициентов в направлении: химия → деревообработка и производство стройматериалов → машиностроение и металлообработка → металлургия за счет не столько увеличения количества создаваемых техногенных геофизических аномалий (практически каждое современное производство характеризуется полным набором видов соответствующего воздействия), сколько их интенсивностью. В добывающей же промышленности весовые коэффициенты увеличиваются при переходе от подземной добычи полезных ископаемых к открытой. При этом подземная разработка по геофизическому воздействию соизмерима с усредненным влиянием предприятий перерабатывающей промышленности, а открытая разработка (по концентрации транспортных линий) – соизмеримой с железнодорожным узлом. А также в связи особой актуальностью для Украины (в свете аварии на Чернобыльской АЭС) проблемы наличия техногенного радиоактивного загрязнения максимальный весовой коэффициент (соизмеримый с открытыми горными работами и железнодорожными узлами) также имеют проявления превышения природного  $\gamma$ -фона и площадного загрязнения территории радионуклидами (в частности, для условий Днепропетровской области –  $Cs^{137}$  и  $Sr^{90}$ ).

В региональном плане при вычислении конкретных значений как техногенной составляющей геофизического воздействия  $G_t$ , так и природной –  $G_p$  результаты относятся к центральным точкам фиксиро-

ванных положений скользящего окна. К этим же точкам относятся и значения суммарного геофизического воздействия  $G$ , для вычисления которого природная и техногенная составляющая предварительно нормируются относительно своих максимальных значений, причем известное, близкое к логнормальному закону, распределение значений магнитного поля на больших территориях вызывает необходимость предварительного логарифмирования природной магнитной составляющей

$$G = k_p \frac{\lg G_p}{\lg G_p \max} + k_t \frac{G_t}{G_t \max}, \quad (2)$$

где  $k_p$  и  $k_t$  – весовые коэффициенты вклада соответственно природной и техногенной составляющих в суммарное геофизическое воздействие;  $G_p \max$  и  $G_t \max$  – абсолютные максимумы соответственно природной и техногенной составляющих геофизического воздействия на изучаемой территории.

В качестве примера на рис.1 приведен общий вид картосхемы пространственной оценка суммарного равновесного (т.е.  $k_p = k_t = 1$  в выражении (2)) природно-техногенного геофизического воздействия территории Днепропетровской области («скользящее» окно – квадрат со стороной 10 км, что условно соответствует масштабу 1:1000000).



Рис. 1. Схема суммарного природно-техногенного геофизического воздействия на территорию Днепропетровской области: 1 – низкая; 2 – средняя; 3 – повышенная; 4 – высокая; 5 – чрезвычайно высокая

Хорошо прослеживается через всю территорию области субширотная полоса высокого уровня геофизического воздействия, отражающая основную тенденцию транспортного потока региона, межрегиональные промышленно-экономические связи: угольного Донбасса с промышленным центром Украины – Днепропетровск, Кривой Рог, и особо выделяется район г. Кривой Рог – крупнейший горно-металлургический центр Украины [8]. На этом общем фоне выделяются региональные промышленно-городские агломерации и крупные районные промышленные узлы. Формализованное нормирование показателя  $G_t$  с учетом пространственного распре-

ления результатов прогнозирование развития региональной радиологической обстановки (с использованием технологии паритетного совмещения результатов краткосрочного и долгосрочного прогнозов, изложенной в [9]) позволяет выделить внутри региона добычи и первичной переработки уранового сырья две зоны около наибольших концентраций объектов ядерно-топливного цикла и соединяющих транспортных магистралей (с соответствующим удалением границ): 1) влияния – 10-30 км и 2) возможного влияния – 20-40 км (рис. 2) [10].

Разработка формализованной процедуры определения общей приоритетности региональной застройки. При разработке такой формализованной процедуры  $P$  сделаны следующие предложения (ограничения) [11].

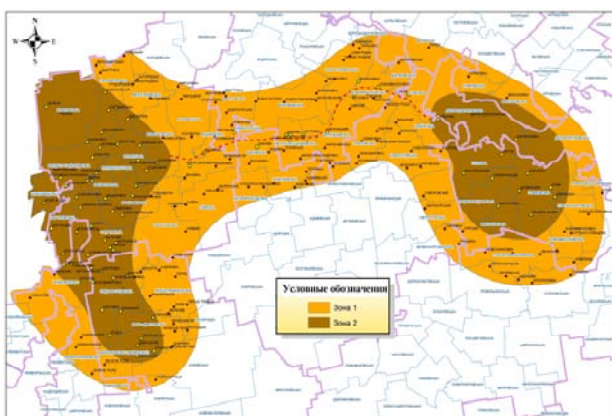


Рис. 2. Зонирование территории Днепропетровского сегмента региона добычи и первичной переработки уранового сырья

Необходимыми условиями приоритетности застройки являются высокая плотность населения  $N$  и высокая плотность существующих населенных пунктов  $M$ . Т.е. необходимо развивать все существующие населенные пункты (за исключением больших городов) при наличии достаточно высокого количества населения, а не начинать строительство новых. Ограничениями этой приоритетности являются: неблагоприятное современное экологическое состояние территории  $E$ , наличие опасных проявлений экзогенных и эндогенных геологических процессов  $G$  и особенности разломно-блокового тектонического строения недр  $T$  (которые в значительной мере определяют два предыдущих фактора). Количественно для  $i$ -ого элементарного (единичного) пространственного окна

$$P_i = N_i + M_i - E_i - G_i - T_i, \quad (3)$$

где  $N_i = k_n \cdot N_o / S$  ( $N_o$  – количество населения и  $S$  – площадь единичного пространственного окна);  $M_i = k_m \cdot M_o / S$  ( $M_o$  – количество населенных пунктов – без больших городов);  $E_i = k_e \cdot \sum e_{ij}$  ( $e_j$  – опасные проявления  $j$ -го экологического фактора);  $G_i = k_g \cdot \sum g_{il}$  ( $g_l$  – опасные проявления  $l$ -го геологического процесса);  $T_i = k_t \cdot \sum t_{id}$  ( $t_{id}$  – тектонические разломы  $d$ -го направ-

ления простирания);  $k$  – соответствующие нормирующие коэффициенты.

Для Днепропетровского сегмента исследуемого региона в качестве исходных данных для формализованной оценки общей приоритетности региональной застройки  $P$  было использовано соответственно по следующим составляющим:  $N$  и  $M$  – топографические планшеты масштаба 1:200000 и официальная статистическая информация о демографическом состоянии районов области;  $E$  – экологическая карта области с оценкой и прогнозом развития региональной радиологической ситуации [9],  $G$  – картосхемы распространения проявлений основных экзогенных геологических процессов (из Атласа «Геология и полезные ископаемые» масштаба 1:5000000, ИГН НАН Украины, 2001 г.),  $T$  – карта систем разломов области масштаба 1:200000 [12]. Последнее определяется тем, что разломы являются одним из основных факторов, определяющих экологическую обстановку любого региона. Их современная активизация формирует основные особенности геологической среды, определяющие ее экологические параметры. К этим геологическим телам, имеющим свою структуру и характеризующимся комплексом геолого-геофизических, геоморфологических, гидрогеологических, геохимических и других признаков – приурочены почти все природные и техногенные процессы в земных недрах и на дневной поверхности.

Для расчетов было выбрано пространственное окно в форме квадрата со стороной 1 км. По результатам расчетов в зону общей приоритетности региональной застройки Днепропетровского сегмента региона добычи и первичной переработки уранового сырья попала почти полностью территория Пятихатского и северо-запад Верхнеднепровского районов (с максимумом на севере этих районов) [11].

**Заключение.** Подводя итог, необходимо отметить, что на сегодня развитие населенных пунктов регионов Украины характеризуется значительными отличиями в уровнях их социально-экономического развития, территориальными диспропорциями развития, существенными недостатками в территориальной организации общества, в системе поселений, которые привели к ухудшению демографической ситуации и снижению качества жизни населения.

Для оптимизации застройки территорий регионов необходим учет, вместе с ландшафтными, историческими, архитектурными и другими особенностями, геолого-геофизических данных. На этих принципах разработана формализованная процедура определения пространственной приоритетности региональной застройки.

Полученные результаты будут положены в основу дальнейшего более детального определения приоритетности функциональной районной застройки территории при реализации Государственной программы устойчивого развития региона, добычи и первичной переработки уранового сырья, а также для соответствующего анализа других техногенно нагруженных территорий Украины.

## Список літератури

1. Концептуальні положення програми переходу регіону видобування та первинної переробки уранової сировини до сталого розвитку / А.Г. Шапар, В.В. Антонов, О.К. Тяпкін та ін. // Екологія і природокористування. – Вип. 6. – Д.: Моноліт. – 2003. – С. 6-24.
2. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т. Трофимова. – Москва: МГУ, 1997. – 368 с.
3. Кулинкович А.Е., Якимчук Н.А. Проблемы геоинформатики. Ч. 1. – К.: Карбон-Лтд, 2002. – 78 с.
4. Тяпкін О.К. Геофізичне середовище і базові геофізичні показники якості життєдіяльності населення та стану навколишнього середовища // Екологія і природокористування. – Вип. 2. – Д.: ІППЕ НАН України, 2000. – С. 92-97.
5. Дубов А.П. Геомагнитное поле и жизнь. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 175 с.
6. Жидков М.П., Лихачева Э.А. Влияние аномального магнитного поля на расположение и рост городов // Известия РАН. Серия географическая. – 1996. – № 1. – С. 72-84.
7. Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 637 с.
8. Troyan J.G., Tyapkin O.K., Bugrova N.L. Geophysical Criterias of an Estimation of Conditions of Human Activity of Population of Ukrainian Southeast // Proc. EAGE 62<sup>nd</sup> Conference and Technical Exhibition. – Vol. 1. – Glasgow (UK). – 2000. – Paper A-48. – 4 p.
9. Tyapkin O.K., Shapar A.G., Troyan J.G. The Prediction of Changes of a Radiological Situation of Industrial Advanced Regions of NIS // Proc. EAGE 63<sup>rd</sup> Conference and Technical Exhibition. – Vol. 2. – Amsterdam (The Netherlands). – 2001. – Paper P233. – 4 p.
10. Білашенко О.Г., Кравець С.О., Тяпкін О.К. Екологічне зонування території (на прикладі регіону видобування та первинної переробки уранової сировини) / Матер. IV міжнар. молодіжн. наук. конф. «Довкілля – XXI». – Дніпропетровськ: Моноліт, 2008. – С. 13-16.
11. Троян Я.Г., Тяпкін О.К. Розробка формалізованої процедури визначення просторової пріоритетності регіональної забудови із урахуванням комплексу геолого-геофізичних та екологічних даних // Матер. IV міжнар. молодіжн. наук. конф. «Довкілля – XXI». – Д.: ІППЕ НАН України, 2006. – Т. 2. – С. 27-29.
12. Тяпкін О.К. К созданию среднемасштабной экотектонической основы по геолого-геофизическим данным // Науковий вісник Національної гірничої академії. – 2001. – № 5. – С. 32-33.

*Рекомендовано до публікації д.г.-м.н. В.Ф. Приходченком 02.09.09*

УДК 624.24.05

А.А. Хруцкий

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБТЕКАНИЯ ШТЫРЕВОЙ КОРОНКИ СЖАТЫМ ВОЗДУХОМ ПРИ БУРЕНИИ В СРЕДЕ COSMOSFLOWWORKS

Розглянуто використання потужного розрахункового пакету COSMOSFloWorks для вирішення прикладної задачі про обтікання корпусу штиривої коронки стислим повітрям під час буріння свердловини.

Рассмотрено применение мощного расчетного пакета COSMOSFloWorks для решения прикладной задачи об обтекании корпуса штыревой коронки сжатым воздухом при бурении скважины.

In the article application of powerful calculation package of COSMOSFloWorks is examined for the decision of the applied task about flowing around by the compressed air of button bit corps in the process of well-boring.

При разработке методики проектирования бурового инструмента важным вопросом является обеспечение нормального удаления продуктов разрушения из призабойной зоны.

Для штыревого инструмента этот вопрос приобретает особое значение, так как количество и крупность шлама увеличивается по сравнению с лезвийным.

Очевидно, что недостаточная очистка забоя при бурении приводит к снижению скорости бурения, излишним затратам энергии и преждевременному износу бурового оборудования.

Как отмечают отечественные и зарубежные авторы, занимавшиеся вопросами выноса шлама при бурении погружными пневмоударниками, Б.А. Катанов, Э.Х. Мехтиев, М.Р. Мавлютов, В.А. Перетолчин, Е.И. Стетюха, С.С. Сулакшин, существующие методы расчета параметров очистки скважины основаны на обеспечении транспортирования шлама по стволу скважины потоком газообразного или жидкого промывочного агента без учета эффективности очистки призабойной зоны от частиц шлама.

Целью математического моделирования является анализ и выявление основных закономерностей влияния геометрии рабочей части коронки на протекание сжатого воздуха в призабойной зоне.

Скомбинировав факторы и отбросив заранее нефункциональные схемы, нами предлагаются к рассмотрению 10 схем корпусов (табл. 1).

В ходе исследования были приняты следующие допущения: а) для исследований принята модель с неподвижной коронкой, поскольку величина отскока реальной коронки очень мала (1-2 мм); б) при расчете не учитывалось влияние неровности забоя, стенок скважины и наличия штырьков на рабочей поверхности коронки; в) расход сжатого воздуха был принят постоянным, соответствующим расходу погружного пневмоударника П-105 – 0,093 м<sup>3</sup>/с.

В дальнейшем проверка результатов аналитического исследования опытным путем на стенде подтвердила правомочность таких допущений.

Варьируемые факторы – тип корпуса коронки. Рассматриваемые схемы: плоский корпус и с выемкой; схема расположения продувочных каналов. Рас-

сматриваемые схемы: два осевых канала; осевой центральный под углом; осевой и радиальный; схема взаимного расположения продувочных каналов и пазов. Рассматриваемые схемы – прямое расположение (каналы располагаются напротив пазов) и смещенное.

Математическое моделирование протекания сжатого воздуха в призабойной зоне выполнялось с использованием пакета COSMOSFloWorks.

Пакет COSMOSFloWorks основан на усовершенствованной системе вычислительной гидродинамики (CFD) и позволяет анализировать широкий диапазон комплексных потоков с использованием метода конечных разностей. Данным методом решаются задачи вычисления значений физических величин скалярного или векторного типа на множестве точек некоторой сплошной среды. В качестве пространственной области выступает модель участка призабойного пространства с коронкой (см. табл. 1).

Данная задача в контексте COSMOSFloWorks рассматривается как расчетная область (Computational Domain) с внутренним потоком (Internal Flow). К внутренним потокам выдвигается следующее требование – все отверстия должны быть закрыты крышками. Это требуется в силу того, что входные и выходные граничные условия в COSMOSFloWorks определяются только на поверхностях, контактирующих с жидкостью.

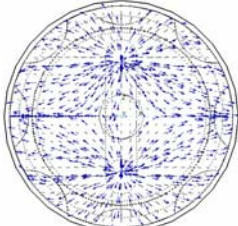
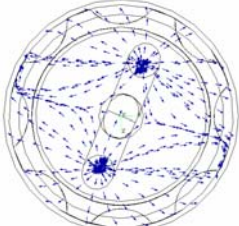
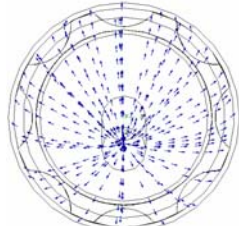
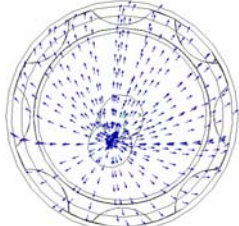
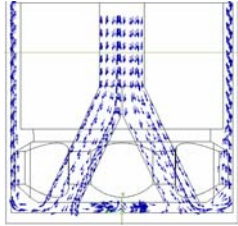
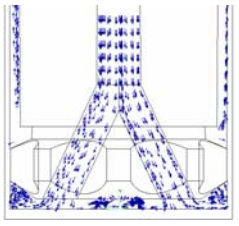
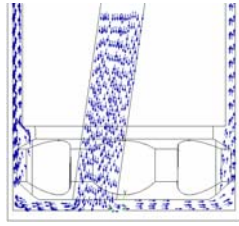
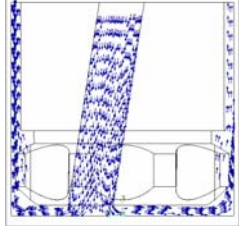

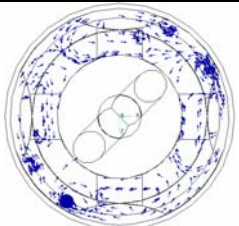
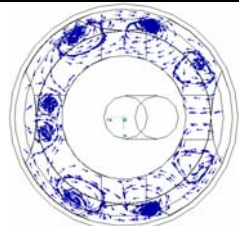
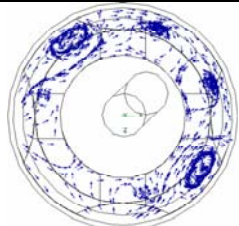
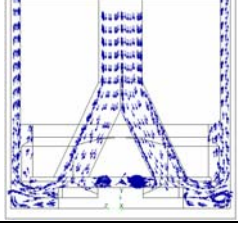
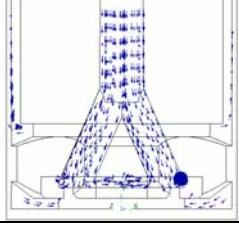
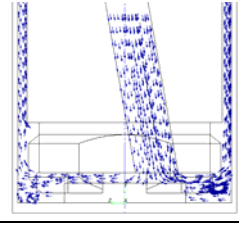
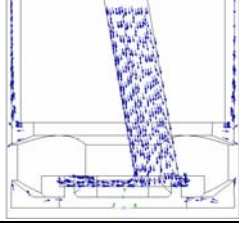
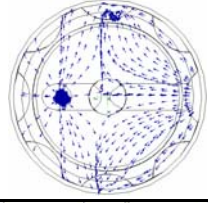
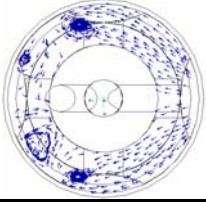
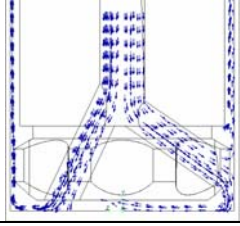
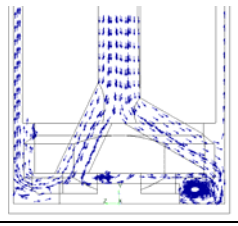
Все расчетные схемы (см. табл. 1) были построены в среде SolidWorks с учетом требований, выдвигаемых пакетом COSMOSFloWorks.

Далее при определении начальных условий использовался встроенный мастер COSMOSFloWorks для создания проектов.

Для каждой схемы был создан проект со следующими начальными условиями: система единиц – система СИ; тип анализа – внутренний, установившееся течение; тип жидкости – газ, воздух; тип течения – ламинарное и турбулентное с высоким числом Маха (сверхзвуковое); точность решения, определяющая размер ячеек сетки – 3 и 4. Остальные параметры приняты по умолчанию.



## Результаты исследования

	Схема 1	Схема 2	Схема 3	Схема 4
Вид сверху				
Сечение по каналам				
Корпус	Плоский корпус с двумя осевыми каналами, имеющими прямое расположение	Плоский корпус с двумя осевыми каналами, имеющими смещенное расположение	Плоский корпус с одним осевым каналом, имеющим прямое расположение	Плоский корпус с одним осевым каналом, имеющим смещенное расположение
	Схема 5	Схема 6	Схема 7	Схема 8
Вид сверху				
Сечение по каналам				
Корпус	Корпус с выемкой с двумя осевыми каналами, имеющими прямое расположение	Корпус с выемкой с двумя осевыми каналами, имеющими смещенное расположение	Корпус с выемкой с одним осевым каналом, имеющим прямое расположение	Корпус с выемкой с одним осевым каналом, имеющим смещенное расположение
	Схема 9		Схема 10	
Вид сверху				
Сечение по каналам				
Корпус	Плоский корпус с осевым и радиальным каналами, имеющими прямое расположение		Корпус с выемкой с осевым и радиальным каналами, имеющими прямое расположение	

Далее определялись граничные условия. Область втекания газа характеризуется объемным расходом газа:  $Q = 0,093 \text{ м}^3/\text{с}$ . Область вытекания характеризуется атмосферным давлением:  $p = 101325 \text{ Па}$ . Остальные грани являются нейтральными и характеризуются нулевой скоростью движения газа:  $u_x = 0$ ;  $u_y = 0$ ;  $u_z = 0$ .

Заданная область при решении задачи разбивается сеткой. Величина ячеек сетки выбиралась таким образом, чтобы получить наибольшую точность решения, не увеличивая при этом время решения и затрачиваемые ресурсы. Адекватность принятых сеток и соответственно точности решения оценивались с помощью правила Рунге.

Для этого каждая схема решалась с сеткой 3 уровня точности и с сеткой 4 уровня точности.

Выборанный уровень точности сеток всех схем согласно правилу Рунге достаточен. Доверительный интервал 95%.

Результаты моделирования представлены в табл. 1 в виде векторных полей скорости сжатого воздуха в призабойной зоне.

Полученные данные проанализированы на предмет нахождения зон завихрений, препятствующих нормальному оттоку промывочного агента из призабойной области и зон с минимальной скоростью движения потока сжатого воздуха. Также рассматривался путь, проходимый потоком сжатого воздуха, от продувочного канала до пазов для выноса шлама. Анализ проводился исходя из величины и направления векторов скорости потока и линий тока. Для этого в каждой схеме в призабойной области были выбраны 200 точек.

Во всех рассмотренных случаях в схемах с корпусом с выемками имеются значительные зоны завихрений (см. табл. 1, схемы 5-8, 10).

Схемы с плоским корпусом характеризуются меньшими зонами завихрений и более равномерным течением потока газа (см. табл. 1, схемы 1-4, 9).

В ходе анализа полученных результатов было установлено, что при нескольких продувочных каналах (схемы с двумя осевыми и схемы с одним осевым и одним радиальным каналами) во всех случаях образуется зона столкновения двух потоков, в которой скорость потока снижается, что может приводить к скоплению бурового шлама (см. табл. 1, схемы 1, 2, 5, 6, 9, 10).

Наиболее благоприятными, с точки зрения минимального числа завихрений, изменений направления потока и наименьшего пути, проходимого потоком от продувочного канала до пазов для выноса шлама, являются схемы с одним осевым каналом (см. табл. 1, схемы 3, 4, 7, 8).

Протекание сжатого воздуха при прямом и смещенном взаимном расположении промывочных каналов и пазов для выноса шлама незначительно отличаются друг от друга.

На рис. 1 представлены диаграммы максимальных скоростей потока в призабойной зоне для схем с плоским корпусом и для схем с корпусом с выемкой.

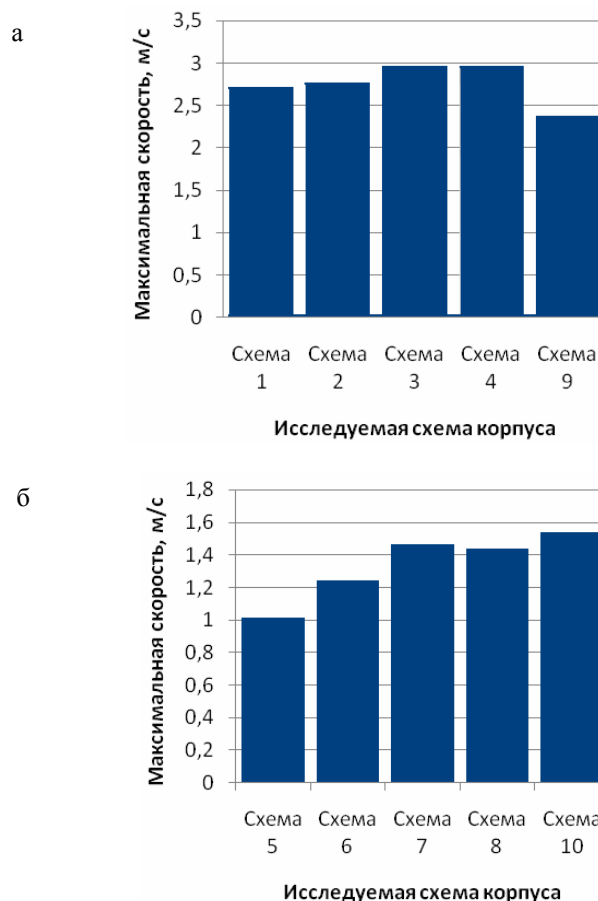


Рис. 1. Максимальные скорости потока в призабойной зоне: а – для схем с плоским корпусом; б – для схем с корпусом с выемкой.

Как видно из представленных диаграмм, максимальная скорость потока в призабойной зоне для схем с плоским корпусом практически в 2 раза выше, чем для схем с корпусом с выемкой. Причем среди схем с плоским корпусом наибольшая скорость у схем с одним осевым каналом (см. рис. 1, схемы 3, 4), наименьшая – у схем с одним осевым и одним радиальным каналами (см. рис. 1, схема 9). Для схем с корпусом с выемкой наибольшая скорость у схемы с одним осевым и одним радиальным каналами (см. рис. 1, схема 10), а наименьшая – у схем с двумя осевыми каналами.

На рис. 2 представлены графики распределения скорости потока в призабойной зоне для схем с плоским корпусом и для схем с корпусом с выемкой.

Из представленных графиков видно, что в схемах с плоским корпусом имеют место более скоростные потоки, чем в схемах с корпусом с выемкой – в большем количестве точек наблюдается высокая скорость потока.

Для схем с плоским корпусом наименьшие потери скорости потока наблюдаются в схемах с одним осевым каналом (см. рис. 2, а, схемы 3, 4).

Для схемы корпуса с выемкой наилучшей, с точки зрения минимальных потерь скорости потока, является схема с одним осевым и одним радиальным каналами (см. рис. 2, б, схема 10). В остальных схемах распределение скоростей аналогичное.



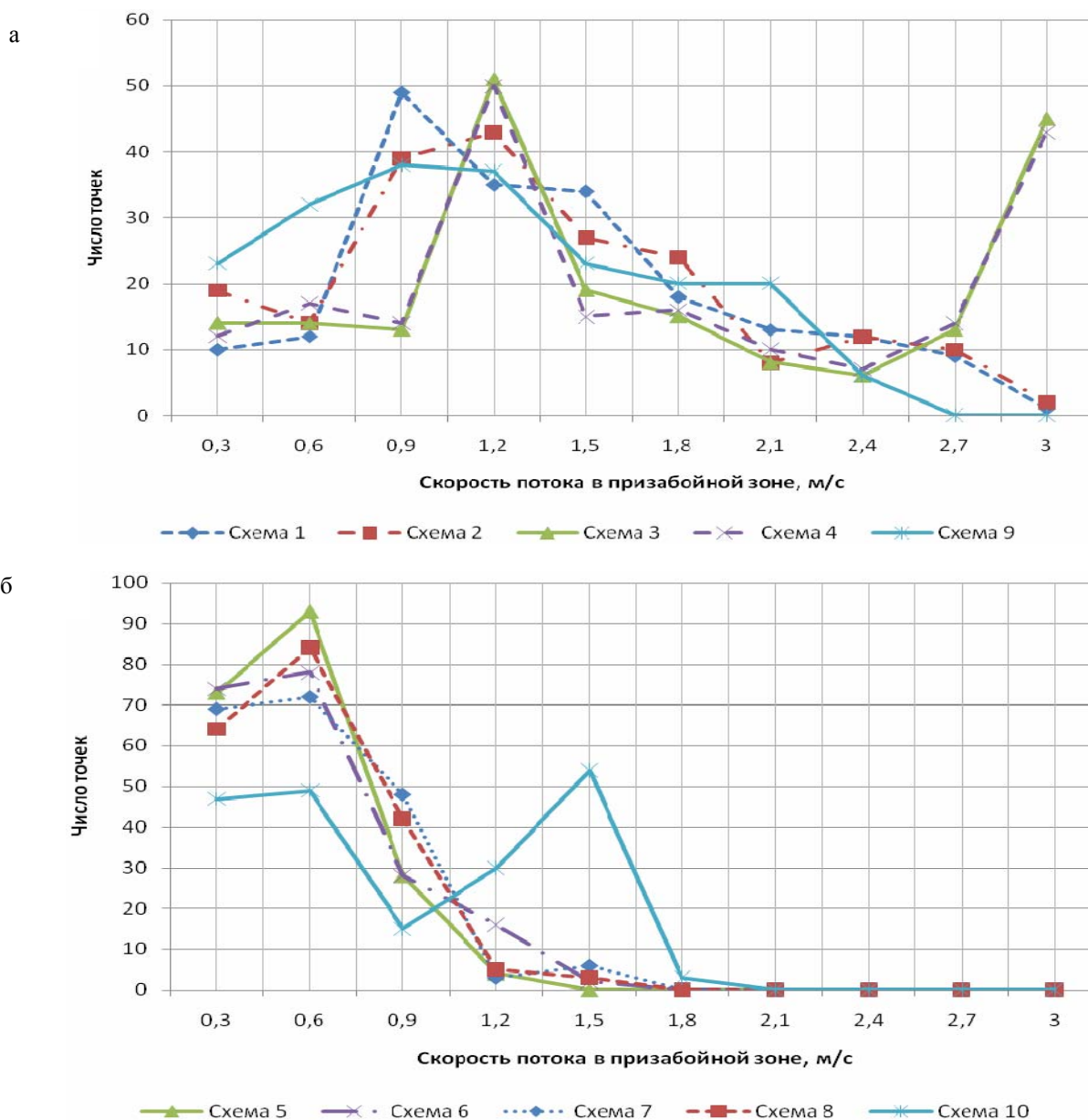


Рис. 2. Распределение скорости потока в призабойной зоне: а – для схем с плоским корпусом; б – для схем с корпусом с выемкой

### Выводы

Проведенное аналитическое исследование влияния геометрии штыревой коронки на процесс протекания сжатого воздуха в призабойной зоне позволило определить сочетания исследуемых геометрических элементов, дающие наименьшие потери скорости потока, отсутствие зон завихрений, препятствующих потоку продувочного агента. Наиболее эффективна схема с плоским корпусом и с одним осевым каналом с прямым и смещенным взаимным расположением продувочных каналов и пазов.

Все рассмотренные схемы корпуса с выемками показали свою неэффективность – имеются значительные зоны завихрений, скорость потока в призабойной зоне ниже в 1,5-2 раза по сравнению со схемами с плоским корпусом.

Установлено, что при нескольких продувочных каналах (схемы с двумя осевыми и схемы с одним осевым и одним радиальным каналами) во всех случаях образуется зона столкновения двух потоков с низкой скоростью и завихрениями, что может приводить к скоплению бурового шлама.

Все полученные результаты математического моделирования процессов, протекающих в призабойной зоне, носят качественный характер и являются априорной информацией для проведения дальнейших экспериментальных исследований.

Задачами дальнейших исследований и разработок являются экспериментальное и практическое подтверждение полученных результатов и создание методики проектирования штыревых коронок с улучшенной очисткой скважины.

Список литературы

1. Шан Тику. Эффективная работа Solid Works 2004. – Санкт Петербург, 2005. – 234 с.
2. Прохоренко В.П. Solid Works. Практическое руководство. – М.: Би нон, 2004. – 185 с.
3. Дударева Н., Загайко С.А. Самоучитель SolidWorks 2007. – Санкт-Петербург: БХВ – Петербург, 2007. – 352 с.

4. Сологуб А.В., Сабирова З.А. SolidWorks 2007 технология трехмерного моделирования. – Санкт-Петербург: БХВ – Петербург, 2007. – 352 с.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. В.П. Франчуком 15.09.09*

УДК 621.515:536.662.004.82:620.92

М.В. Радюк

## ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УТИЛИЗАЦИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА ВОЗДУШНЫХ ТУРБОКОМПРЕССОРОВ

Розроблено схему когенераційної утилізації тепла турбокомпресорів з метою вироблення електроенергії за допомогою теплосилової установки, що працює на низькокиплячих робочих тілах. Визначено умови, при яких вироблення електроенергії буде максимальним.

Разработана схема когенерационной утилизации тепла турбокомпрессоров с целью выработки электроэнергии с помощью теплосиловой установки, работающей на низкокипящих рабочих телах. Определены условия, при которых выработка электроэнергии будет максимальной.

Cogeneration waste heat utilization scheme for turbocompressors for electricity generation by means of the power plant operating on low-boiling working fluids is developed. Maximum electricity generation conditions are determined.

На рудных и газообильных угольных шахтах воздушные компрессорные станции являются одними из наиболее мощных потребителей электроэнергии, поэтому энергетическая эффективность этих предприятий во многом зависит от эффективности производства и расходования сжатого воздуха. Существенным резервом в повышении эффективности выработки сжатого воздуха является утилизация тепла, отводимого при его сжатии. Известны технические решения по использованию этого тепла для нужд предприятий, в частности, для систем отопления и горячего водоснабжения (ГВС) [1, 2]; для нагрева в зимнее время воздуха, поступающего в шахту [3]; для генерации пара хладагента в абсорбционных холодильных машинах [3, 4].

Недостаток этих технических решений состоит в том, что потребность в их применении носит сезонный характер, или же ограничивается наличием на шахтах установок кондиционирования воздуха с абсорбционными холодильными машинами.

С этой точки зрения перспективной представляется когенерационная технология круглогодичной утилизации этого тепла, состоящая в преобразовании его в электроэнергию и тепло с температурным потенциалом, достаточным для использования в системе горячего водоснабжения (ГВС) предприятий.

Целью настоящих исследований является разработка схемного решения теплоутилизационной установки и определение основных энергетических показателей ее эффективности.

Исследование проведено для условий турбокомпрессоров К-260-61, широко применяющихся на горных предприятиях. Схема турбокомпрессорной установки с когенерационной утилизацией тепла, отводимого от сжатого воздуха, приведена на рис. 1.

Воздух, сжимаемый в турбокомпрессоре ТК, охлаждается в двух промежуточных воздухоохладителях ПВО1, ПВО2 и конечном КВО.

С целью повышения температурного потенциала утилизируемого тепла эти воздухоохладители, в отличие от типовых, предполагается выполнить двухсекционными. Первая по ходу движения воздуха секция включается в систему утилизации тепла, а вторая, служащая для окончательного охлаждения воздуха, включается в существующую типовую систему охлаждения. Преобразование тепла в электроэнергию осуществляется с помощью теплосиловой установки (ТСУ), работающей на низкокипящем рабочем теле (НРТ). Такие установки получают в настоящее время все более широкое распространение при использовании низкопотенциального бросового тепла и тепла геотермальных источников [5-7]. Основными элементами ТСУ являются турбина Т, конденсатор К, подогреватель сетевой воды (ПСВ), насосы Н1, Н2 и парогенератор, роль которого исполняют утилизационные секции воздухоохладителей (ВО).

Цикл изменения состояния НРТ в установке изображен на рис. 2.

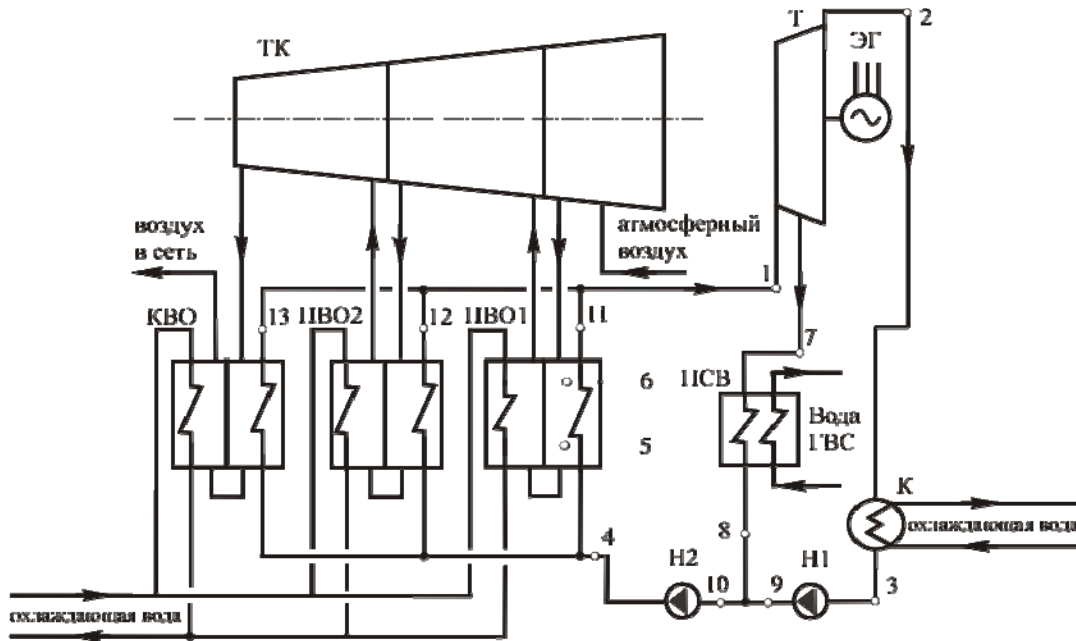


Рис. 1. Схема турбокомпрессорной установки с когенерационной утилизацией тепла

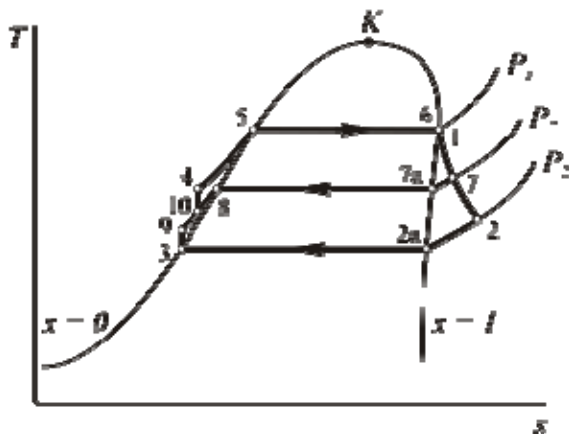


Рис. 2. Термодинамический цикл ТСУ

Показанная на рис. 2 верхняя пограничная кривая имеет наклон, характерный для фреона R142. Номера характерных точек цикла соответствуют номерам точек, показанных на схеме установки (см. рис. 1). НРТ поступает в теплоутилизационные секции воздухоохлаждателей в жидкой фазе (точка 4). Здесь оно подогревается до состояния кипения (точка 5), испаряется до состояния сухого насыщенного пара (точка 6) и может перегреваться. На рис. 2 показан частный случай парообразования НРТ, когда на выходе оно представляет собой сухой насыщенный пар, поэтому точки 1 (вход в турбину) и 6 совпадают. Пар НРТ направляется в турбину Т, в которой, расширяясь, производит работу, превращаемую в электроэнергию с помощью электрогенератора ЭГ. Давление пара (в точке 2) определяется температурой его конденсации. Чтобы иметь возможность более полно и гибко использовать теплоту, воспринятую НРТ в теплоутилизационных секциях воздухоохлаждателей, в схеме предусмотрена работа установки по теплофикацион-

ному циклу. В этом случае часть пара отбирается из промежуточного отбора турбины и направляется в ПСВ. Давление отбора (точка 7) определяется температурой конденсации пара НРТ в подогревателе сетевой воды. Сконденсированный пар НРТ насосами Н1 и Н2 подается в теплоутилизационные секции воздухоохлаждателей. При отсутствии необходимости в горячей воде и нулевом расходе пара в промежуточном отборе турбины установка будет работать по чисто конденсационному циклу (1-2-3-4-5-6-1), при котором выработка электрической энергии максимальна.

Одним из основных параметров, определяющих работу теплоутилизационной установки, является температура воздуха, выходящего из теплоутилизационных секций воздухоохлаждателей (температура промежуточного охлаждения  $t_{\text{пром}}$ ), так как от этой величины зависит количество утилизируемого тепла и термический КПД цикла ТСУ. Важными параметрами являются также давление  $p_1$  и температура  $t_1$  пара НРТ перед турбиной, разность  $\Delta t_{\text{пр}} = t_1 - t_6$ , определяющая степень перегрева пара перед турбиной. Известно, что влияние степени перегрева на работу ТСУ зависит от выбора рабочих тел, а именно от характера наклона верхней пограничной кривой фазовой диаграммы состояния в  $T, s$  — координатах.

Поэтому для обоснованного выбора параметров ТСУ необходимо исследовать влияние этих факторов на энергетические показатели установки: величину вырабатываемой электрической мощности  $N_{\text{эл}}$ , термический КПД  $\eta_t$ , коэффициент использования утилизируемого  $\eta_{\text{от}}$  и всего тепла, отводимого от сжатого воздуха  $\eta_0$ . Эти величины рассчитывались по формулам:

$$N_{эл} = N_T \eta_{мех.т} \eta_{эг} - \frac{N_H}{\eta_{мех.н} \eta_{эд.н}};$$

$$\eta_t = \frac{N_T - N_H}{Q_{ут}}; \eta_{Q_{ут}} = \frac{N_{эл} + Q_{псв}}{Q_{ут}};$$

$$\eta_Q = \frac{N_{эл} + Q_{псв}}{Q_{ут} + Q_x},$$

где  $N_T$  и  $N_H$  – внутренняя мощность турбины и насоса, кВт;  $\eta_{мех.т}$  и  $\eta_{мех.н}$  механические КПД турбины и насоса;  $\eta_{эг}$  и  $\eta_{эд.н}$  – КПД электрогенератора и электродвигателя насоса;  $Q_{ут}$  – утилизируемая тепловая мощность, кВт;  $Q_{псв}$  – тепловая мощность ПСВ системы ГВС, кВт;  $Q_x$  – тепловая мощность, отводимая в доохлаждающих секциях ВО, кВт.

Решение этих задач осуществляем на основе имитационного моделирования режимов работы теплоиспользующей установки. При этом в качестве НРТ рассматриваем фреон R142, для которого значение производной температуры по энтропии на правой пограничной кривой  $(dT/ds)_{sat} > 0$ , и аммиак  $NH_3$ , для которого  $(dT/ds)_{sat} < 0$ , где  $dT$  – приращение температуры, К;  $ds$  – приращение энтропии, Дж/(кг·К).

При моделировании учитываем ступенчатый характер изменения температуры НРТ при нагреве и парообразовании в воздухоохладителях и соответствующий график изменения температуры греющего воздуха. Начальную температуру охлаждаемого воздуха определяем на основе моделирования характеристик и режимов работы секций неохлаждаемых ступеней турбокомпрессора, осуществляемого в соответствии с [1, 8]. Расчет свойств НРТ производим в соответствии с [9].

Основные результаты исследования приведены в виде графиков на рис. 3-6.

Влияние степени перегрева пара НРТ на величину вырабатываемой электрической мощности показано на рис. 3.

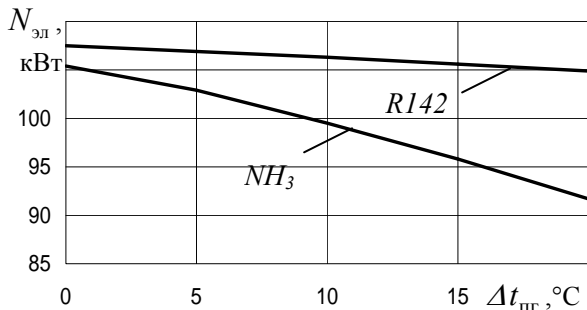


Рис. 3. Зависимость вырабатываемой электрической мощности от температуры перегрева пара НРТ на входе в турбину

Из рис. 3 видно, что как в случае работы на фреоне R142, так и в случае работы на аммиаке, увеличе-

ние перегрева пара не приводит к увеличению вырабатываемой электроэнергии. Это объясняется ограниченностью мощности используемого источника тепла, вследствие чего при увеличении перегрева уменьшается температура кипения НРТ и давление пара перед турбиной. Поэтому при использовании в качестве НРТ фреона R142 пар на входе в турбину следует принять сухим насыщенным, а при использовании аммиака – минимально перегретым – таким, чтобы на выходе из турбины он стал сухим насыщенным.

Влияние температуры воздуха на выходе из теплоутилизационных секций воздухоохладителей на величину утилизируемой тепловой мощности и эффективность ее преобразования в электроэнергию показано на рис. 4 и 5.

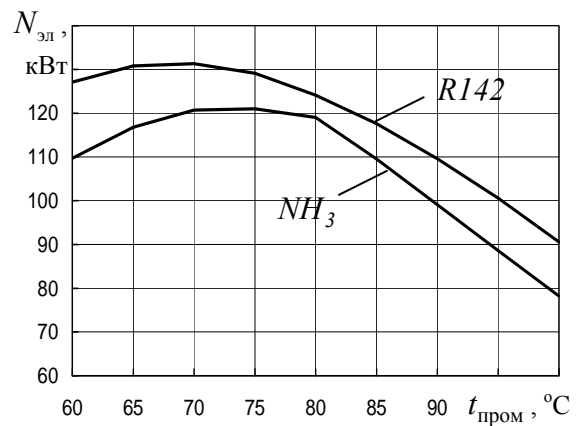


Рис. 4. Зависимости вырабатываемой электрической мощности от температуры воздуха на выходе из теплоутилизационных секций ВО

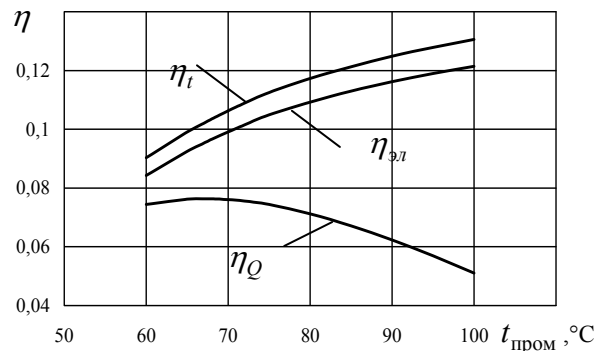


Рис. 5. Зависимости КПД  $\eta_t, \eta_{эл}, \eta_Q$  от температуры воздуха на выходе из теплоутилизационных секций ВО

Из рис. 4 видно, что при работе на фреоне R142 вырабатываемая электрическая мощность выше, чем на аммиаке. Видно также, что зависимость  $N_{эл} = f(t_{пром})$  имеет максимум при определенной величине  $t_{пром}$ . Наличие максимума объясняется про-

тивоположним влиянием  $t_{\text{пром}}$  на величину утилизируемой тепловой мощности, которая при уменьшении  $t_{\text{пром}}$  увеличивается, и эффективность ее преобразования в электроэнергию, которая, как следует из рис. 5, при этом уменьшается.

На рис. 6 приведены графики зависимостей КПД по выработке электроэнергии и коэффициента использования утилизируемого тепла от доли пара в промежуточном отборе турбины  $a_{\text{отб}}$ , когда ТСУ работает по теплофикационному циклу.

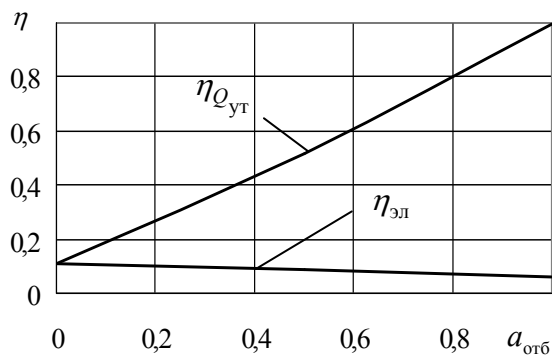


Рис. 6. Зависимости КПД  $\eta_{\text{эл}}$ ,  $\eta_{\text{от}}$  от доли пара в промежуточном отборе

Из рис. 6 видно, что при увеличении доли пара в промежуточном отборе КПД установки по выработке электроэнергии несколько снижается, но за счет использования тепла в системе ГВС значительно возрастает общая эффективность теплоутилизационной установки.

На основе математического имитационного моделирования режимов работы турбокомпрессора К-250 и теплосиловой установки установлено, что:

– показатели энергетической эффективности теплоутилизационной установки при использовании фреона R142 выше, чем в случае работы на аммиаке, поэтому из этих рабочих тел предпочтительным является R142. Кроме того, максимальное давление в контуре для фреона R142 (1,33 МПа) будет значительно ниже, чем в случае для аммиака (3,42 МПа);

– перегрев пара фреона R142 перед подачей в турбину практически не влияет на энергетические показатели установки, поэтому пар в этой точке следует принять сухим насыщенным;

– зависимости вырабатываемой электроэнергии и коэффициента использования всего количества тепла, отводимого от сжатого воздуха в теплоутилизационных и доохлаждающих секциях воздухоохлаждающих секциях воздухоохлаждающих секций имеют максимумы при значениях температуры выходящего из них воздуха (66...68) °С;

– максимальная вырабатываемая электрическая мощность (при работе ТСУ по конденсационному циклу) составляет 115 кВт; при этом коэффициент использования утилизируемого тепла равен 0,0952, а всего тепла, отводимого от сжатого воздуха, – 0,0763;

– при работе установки по теплофикационному циклу вырабатываемая электрическая мощность равна 58 кВт, тепловая мощность, отдаваемая в сеть ГВС, равна 920 кВт, а коэффициенты использования утилизируемого и общего количества тепла равны соответственно 0,99 и 0,65.

## Выводы

Таким образом, на основании выполненных исследований можно рекомендовать применение в качестве НРТ фреона R142, состояние его перед турбиной – сухой насыщенный пар при давлении 1,3...1,5 МПа, температуру воздуха на выходе из теплоутилизационных секций – в интервале (66...68) °С, режим работы ТСУ – по теплофикационному циклу.

## Список литературы

1. Цейтлин Ю.А., Мурзин В.А. Пневматические установки шахт. – М.: Недра, 1985. – 351 с.
2. Герасименко Г.П. Комплексное использование пневматической энергии при отработке глубоких месторождений. – М.: Недра, 1971. – 128 с.
3. Скрыпников В.Б. Энергосберегающая технология системы микроклимата промышленного объекта. – Д.: РИО ПГАСА, 2004. – 205 с.
4. Цейтлин Ю.А. Установки для кондиционирования воздуха шахт. – М.: Недра, 1974. – 168 с.
5. Сапожников М.Б., Тимошенко Н.И. Предельная эффективность электрических станций на низкокипящих рабочих телах // Теплоэнергетика. – 2005. – № 4. – С. 68-72.
6. Бинарные электрические станции / О.А. Поваров, В.А. Саакян, А.И. Никольский и др. // Тяжелое машиностроение. – 2003. – № 8. – С. 13-15.
7. Пятничко В.А., Крушневич Т.К., Пятничко А.И. Утилизация низкопотенциального тепла для производства электроэнергии на компрессорных станциях // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2003. – № 4. – С. 3-6.
8. Рис В.Ф. Центробежные компрессорные машины. – 3-е изд. – Л.: Машиностроение, 1981. – 351 с.
9. Перельштейн В.В., Парушин Е.Б. Термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин и тепловых насосов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 232 с.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Самусею 07.10.09

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СТРУКТУРНОГО СИНТЕЗА И ТЕХНОЛОГИЯ МАТРИЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРАНСМИССИЙ

На прикладі ГОМТ дизелевоза розглянуто теоретичні основи автоматизованого структурного синтезу та технологію матричного моделювання трансмісій.

На примере ГОМТ дизелевоза рассмотрены теоретические основы автоматизированного структурного синтеза и технология матричного моделирования трансмиссий.

For example GOMT dizelevoza the theoretical foundation of automated structural synthesis and technology of the matrix model transmissions.

**Введение.** Среди задач, предусматриваемых государственной “Энергетической стратегией Украины”, которые предстоит решить в 2010-2020 годах, техническое перевооружение и интенсификация угольного производства за счет внедрения новой техники упомянуты в первую очередь. Из года в год в Украине поднимается вопрос обновления горного оборудования. Так, ежегодно требуют замены свыше 400 шахтных электровозов. Перспективным направлением совершенствования локомотивного транспорта шахт Украины, неразрывно связанным с повышением мощности тяговых единиц подвижного состава и увеличением скорости движения поездов, является использование дизелевозов. При этом особо актуальны проблемы создания трансмиссий этих транспортных средств, т.к. трансмиссия, являющаяся неотъемлемой частью любого транспортного средства, существенным образом влияет на технические характеристики машины, ее эргономичность, топливную экономичность, экологические показатели и безопасность движения. Проектирование трансмиссий требует тщательной проработки еще на этапе выбора её типа, кинематической схемы и конструктивных параметров.

**Состояние вопроса.** В научных работах [1-4] разработана технология матричного моделирования трансмиссий и теоретические основы автоматизированного структурного синтеза ступенчатых механических (СМТ) и гидрообъемно-механических транс-

миссий (ГОМТ). Введены понятия базисных кинематических и силовых матриц базовых элементов трансмиссии – редукторов, планетарных рядов, главных передач, гидрообъемных передач (ГОП), тормозных и фрикционных управляющих элементов. В [5] были введены базисные матрицы обгонных муфт на холостом ходу и в режиме передачи крутящего момента; базисные матрицы тормозных элементов были модифицированы для случаев торможения при кинематическом отрыве двигателя от ведущих колес и при торможении с участием двигателя [6]. Представлены кинематические и силовые матрицы гидромашин, входящих в состав разветвленных гидросистем (один насос и несколько моторов) [7], позволяющие, например, автоматически построить математическую модель трансмиссии шахтного дизельпоезда Д8-600 и при необходимости ее проанализировать.

Процесс структурного синтеза произвольной трансмиссии на основе меню ее базовых элементов (рис. 1) и их связей сопровождается генерацией математической модели, которая описывает в общем случае динамику системы двигатель внутреннего сгорания (ДВС) – СМТ или ГОМТ – транспортная машина (ТМ), на основе резервирования и строго структурированного заполнения поля полной матричной системы трансмиссии базисными матрицами ее элементов с подключением прямоугольной матрицы нетривиальных уравнений связей между их звеньями.

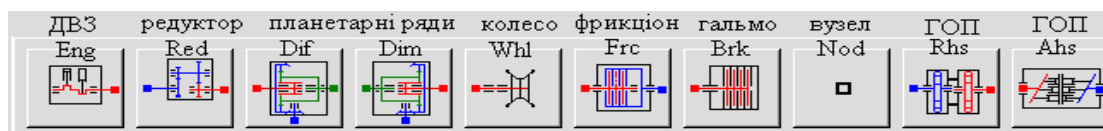


Рис. 1. Главное меню базовых элементов трансмиссии

В квазистационарной постановке полная матричная система трансмиссии в общем случае нелинейная за счет потерь в механической части трансмиссии на трение в зубчатых зацеплениях и в большей мере – за счет объемных и механических потерь в гидрообъемной передаче [1-7], имеет вид:

$$\begin{bmatrix} K & | & L_{12} \\ \hline L_{21} & | & F \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_K \\ C_M \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $K, F$  – кинематическая и силовая матрицы матричной системы трансмиссии, которые включают строго структурированные кинематические и сило-

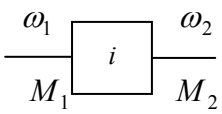
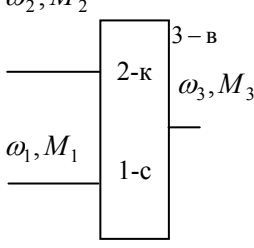
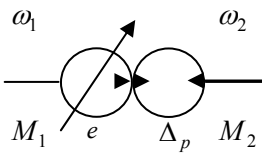
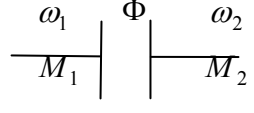
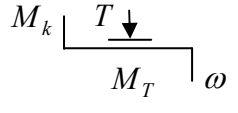
вые базисные матрицы базовых элементов;  $L_{12}$  – матрица коэффициентов потерь в математической модели;  $C_K, C_M$  – векторы-столбцы свободных членов, в которые входят моменты нагрузки на ведущих колесах или активный момент на коленчатом валу двигателя;  $L_{21}$  – матрица инерционных членов, нулевая в

статике;  $W, M$  – векторы-столбцы формальных неизвестных.

Кинематические и силовые базисные матрицы элементов, из которых синтезируются в теории и конструируются на практике как ступенчатые механические, так и многодиапазонные бесступенчатые трансмиссии, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Кинематические и силовые базисные матрицы

Базовый элемент	Кинематические базисные матрицы	Силовые базисные матрицы
<p>Редуктор</p> 	$\begin{bmatrix} i & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = 0$	$\begin{bmatrix} \eta^{\Theta_{sign} N_i} & -i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = 0$
<p>Планетарный ряд</p> 	$\begin{bmatrix} 1 & -k & k & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix} = 0$	$\begin{bmatrix} \eta_{13}^{\Theta_{sign}(M_1 \omega_1)} & \eta_{23}^{\Theta_{sign}(M_2 \omega_2)} & 1 \\ \frac{\omega_1 - \omega_3}{\omega_2 - \omega_3} \eta_{13}^{\Theta_{sign}(M_1 \omega_1)} & \eta_{23}^{\Theta_{sign}(M_2 \omega_2)} & 0 \end{bmatrix} \times$ $\times \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ M_3 \end{bmatrix} = 0 \Rightarrow \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ \frac{\omega_1 - \omega_3}{\omega_2 - \omega_3} & 1 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ k & 1 & 0 \end{bmatrix}$
<p>Гидрообъемная передача</p> 	$\begin{bmatrix} -\bar{e} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \frac{\Delta Q_{\Sigma}}{q}$	$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -\bar{e}q \\ 0 & 1 & q \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \Delta_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\Delta M_1 \text{sign} \omega_1 \\ -\Delta M_2 \text{sign} \omega_2 \end{bmatrix}$
<p>Фрикцион</p>  <p>Вкл.: <math>\Phi = 1</math> Выкл.: <math>\Phi = 0</math></p>	$\begin{bmatrix} \Phi & -\Phi \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ <p>Вкл.: <math>\Phi = 1</math> Выкл.: <math>\Phi = 0</math></p>	$\begin{bmatrix} \Phi & \Phi \\ 1 & +1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ <p>Вкл.: <math>\Phi = 1</math> Выкл.: <math>\Phi = 0</math></p>
<p>Тормоз</p> 	$\omega_i \cdot T = 0$ $T = 0 \Rightarrow \omega_i \neq 0$ $T = 1 \Rightarrow \omega_i = 0$	$\sum M + M_T \cdot T = 0$ $T = 0 \Rightarrow M_T = 0$ $T = 1 \Rightarrow M_T \neq 0$

В таблице  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, M_1, M_2$  – угловые скорости и моменты звеньев базовых элементов – валов, редукторов, планетарных рядов, фрикционов, тормозов, гидромашин;  $\Delta_p, \bar{e}$  – перепад давления и пара-

метр регулирования гидромашин;  $\Delta M_1, \Delta M_2$  – потери моментов на гидромашинах;  $\sum \Delta Q$  – суммарные объемные потери в ГОП.



Изучение большого числа структурных схем ступенчатых механических и бесступенчатых трансмиссий, достаточно сложных планетарных механизмов позволили сформулировать в работах [8] важные леммы и утверждение про взаимно однозначное соответствие между числом базовых элементов и их базисных матриц, тривиальных и нетривиальных уравнений связей, формальными неизвестными и рангами  $Rg(K)$  кинематический и  $Rg(F)$  силовой матричной системы.

**Лемма 1.** Если в работе трансмиссии принимают участие  $n$  редукторов,  $p$  планетарных рядов,  $m$  гидрообъемных передач,  $k$  фрикционов (включенных) и  $t$  тормозов (включенных), то для замкнутости и однозначности решения полной кинематической матричной системы трансмиссии ранг  $Rg(K)$  кинематической матрицы трансмиссии должен быть на единицу меньше общего числа звеньев трансмиссии и удовлетворяет соотношению

$$Rg(K) = n + 2p + m + k + t = Z^* - 1. \quad (2)$$

**Лемма 2.** Если в работе трансмиссии, которая имеет  $x$  выходов ( $x \in \mathbb{N}$ ), на заданном скоростном диапазоне принимают участие  $n$  редукторов,  $m$  планетарных рядов,  $p$  гидрообъемных передач,  $k$  фрикционов (включенных),  $t$  тормозов (включенных), то:

а) ранг  $Rg(F)$  силовой матричной системы трансмиссии удовлетворяет соотношению (3) и совпадает с числом формальных силовых неизвестных;

$$Rg(F) = 2n + 3m + 3p + 2k + t + x; \quad (3)$$

б) число независимых базисных силовых уравнений матричной системы равно сумме (4);

$$n + 2m + 2p + k; \quad (4)$$

в) число базисных силовых матриц, которые образуют прямоугольную силовую матрицу трансмиссии, равняется сумме (5)

$$n + m + p + k. \quad (5)$$

**Лемма 3.** Выключенный фрикционный или тормозной управляющий элемент всегда порождает одно тривиальное уравнение связи вида  $M_j \cdot 1 = 0$  с одним тривиальным формальным силовым неизвестным  $M_j = 0$  (здесь  $M_j$  – момент нагрузки на  $j$ -м звене). Введенные леммы подробно проиллюстрированы в работе [8] на примере конкретной ГОМТ, что позволило сделать следующее утверждение:

**Утверждение:** Если в работе трансмиссии принимают участие  $n$  редукторов,  $m$  планетарных рядов,  $p$  гидрообъемных передач,  $k$  фрикционов (включенных),  $t$  тормозов (включенных), то для замкнутости и единственности решения силовой матричной системы трансмиссии необходимо, чтобы число нетривиальных уравнений связей равнялось числу включенных в работу базовых элементов, то есть:

$$n + m + p + t + k. \quad (6)$$

Научное обоснование структуры кинематических [2] и силовых матричных систем [3, 4] трансмиссий позволило автоматизировать построение достаточно сложных матричных систем в процессе структурного синтеза, которые описывают работу современных и перспективных трансмиссий разных транспортных средств, в частности, это применимо для трансмиссий шахтных дизелевозов.

Архитектура построения кинематических, силовых и полных матричных систем в трансмиссиях любой структуры представлена в табл. 2.

В работе [9] подробно показана реализация структурного синтеза трансмиссий и их математических моделей в среде объектно-ориентированного программирования Delphi. Это осуществляется на базе четырех основных составляющих со следующей иерархией: 1) объекта связи, которая содержит в себе информацию о структуре трансмиссии и методы визуализации потоков мощностей; 2) объекта абстрактного элемента, который включает в себя методы расположения и генерации собственной базисной матрицы; 3) объекта матрицы, которая активизирует методы объектов элементов трансмиссии, формирует структуру полной матричной системы, вызывает процедуру решения этой системы и передает объекту схемы вектор неизвестных; 4) объекта схемы (объекта-менеджера), который координирует работу всех объектов более низкой иерархии, выполняющий главную функцию структурного синтеза произвольной трансмиссии или реконструкции ранее созданной ее схемы.

Таким образом, в области конструирования и расчета трансмиссий предложена новая системная технология автоматизированного проектирования – в процессе структурного синтеза произвольной трансмиссии в среде объектно-ориентированного программирования с параллельной генерацией собственной математической модели трансмиссии.

**Материалы исследований.** К сожалению, подобный подход никогда не использовался для трансмиссий шахтных дизелевозов. Иллюстрация автоматизированного процесса структурного синтеза трансмиссии на примере ГОМТ дизельпоезда Д8-600 показана на рис. 2.

В соответствии с работами [1-9] подготовительный матричный шаблон для структурной схемы (рис. 3) гидрообъемно-механической трансмиссии дизельпоезда Д8-600 имеет вид (рис. 4). В матричном шаблоне первая строка является вектором-строкой формальных неизвестных – угловых скоростей и моментов нагрузки на звеньях, а также давления нагрузки в гидроагрегатах. Данный шаблон согласно методике матричного анализа трансформируется в полную матричную систему ГОМТ дизельпоезда Д8-600 (7). В (7)  $i_1, i_2, i_3$  – передаточные отношения редукторов;  $\eta_1, \eta_2, \eta_3$  – КПД редукторов;  $e_1$  – параметр регулирования управляемого гидронасоса;  $q_1, q_2, q_3$  – производительность гидронасоса и гидромоторов соответственно;  $\sum k_y$  – суммарный коэффициент утечек в ГОП.

Таблиця 2

Архитектура кинематических, силовых и полных матричных систем любой ГОМТ

		Число кинематических неизвестных $Z^* - 1$				Число силовых неизвестных															
		$(Z^* - \text{число целей ГОМТ } c \text{ угловыми скоростями } \omega_i, i = \overline{1, Z^* - 1})$				$2n$				$3p$				$2k$				$t$			
Число уравнений кинематической системы	$n$	<p><math>n</math> кинематических базисных матриц</p>																			
	$m$	<p><math>m</math> кинематических базисных матриц планетарных рядов</p>																			
	$p$	<p><math>p</math> кинематических базисных матриц ГОИП</p>																			
	$k$	<p>Размерность кинематической матричной системы:  <math>[Z^* - 1] \times [n + m + p + k]</math></p> <p><math>k</math> кинематических базисных матриц функционалов, которые включены</p>																			
Число уравнений силовой матричной системы	$n$					<p><math>n</math> силовых базисных матриц редукторов</p>															
	$2m$					<p><math>2m</math> силовых базисных матриц план. рядов</p>															
	$2p$					<p><math>2p</math> силовых базисных матриц ГОИП</p>															
	$k$					<p>Размерность силовой матричной системы:                  [число неизвестных] <math>\times</math> [число базисных уравнений + число связей]  <math>[2n + 3m + 3p + 2k + t] \times [n + m + 2p + k + t]</math></p> <p><math>k</math> вкл. силовых базисных матриц функционалов</p>															
		Количество уравнений связей $n + m + p + k + t$																			

$$\begin{bmatrix} [K] & [L_{12}] \\ [L_{21}] & [F] \end{bmatrix} = [C], \text{ de } [L_{12}] \neq 0, [L_{21}] \neq 0$$

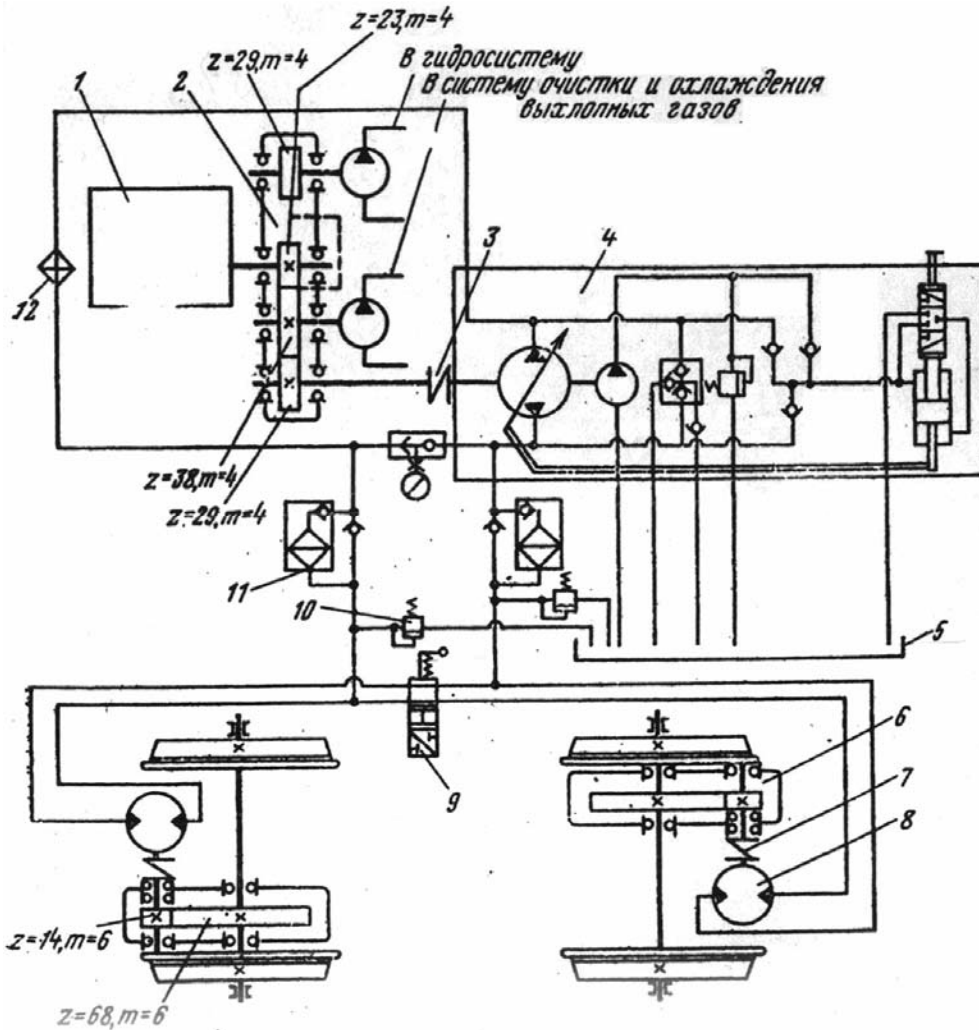


Рис. 2. Кинематическая схема гидрообъемно-механической трансмиссии дизельлокомотива Д8-600

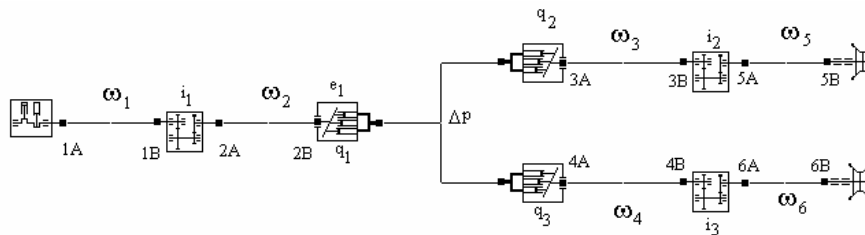


Рис. 3. Структурная схема гидрообъемно-механической трансмиссии дизельлокомотива Д8-600

Для расчета были выбраны следующие исходные данные: масса дизельпоезда 8 тонн; коэффициент сцепления в тяговом режиме  $f = 0,23$ ;  $i_1 = 29/23$ ;  $i_2 = i_3 = 14/68$ ;  $q_1 = 14,17 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{рад}$ ;  $q_2 = 25,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{рад}$ ; радиус ведущего колеса  $r = 0,3 \text{ м}$ ; мощность двигателя  $N = 73,6 \text{ кВт}$ . Результаты моделирования приведены на рис. 5

Анализ результатов, приводит к следующим выводам:

1. В результате применения полнопоточного варианта ГОМТ получен неприемлемо низкий КПД трансмиссии, который регламентируется максимальным КПД ГОП. В свою очередь, последний не пре-

вышает 0,7, а с учетом КПД редукторов общий КПД трансмиссии не более 0,6.

2. В выбранной ГОП давление нагрузки достигает на тяговом режиме 30 МПа и является неоптимальным с точки зрения ядра универсальных характеристик ГОП (см. рис. 1 [10]).

3. Рассмотренный вариант трансмиссии не передает вращательного движения от двигателя к ведущим колесам, пока параметр регулирования  $e_1 < 0,3$  (так называемая «особая зона»). В этом случае нарастающее давление нагрузки в ГОП порождает объемные потери в гидромашинах, которые при  $e_1 < 0,3$  равны подаче гидронасоса.

$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega_3$	$\omega_4$	$\omega_5$	$\omega_6$	$M_{1A}$	$M_{1B}$	$M_{2A}$	$M_{2B}$	$M_{3A}$	$M_{3B}$	$M_{4A}$	$M_{4B}$	$M_{5A}$	$M_{5B}$	$M_{6A}$	$M_{6B}$	$\Delta p$
$-i_1$	1																	
	$-i_2$		$-i_3$	1														
	$-e_1 q_1$	$q_2$	$q_3$															$\sum k_y$
1																		$\omega_D$
				1	$-1$		$\eta_1$	$i_1$										
											$\eta_2$			$i_2$				
												$\eta_3$				$i_3$		
									1									$e_1 q_1$
										1								$q_2$
												1						$q_3$
														1				$\Delta M_3$
																		$M_x$
						1	1											
								1	1									
										1	1							
												1	1					
														1	1			
																1	1	

Рис. 4. Подготовительный матричный шаблон для матричной математической модели ГОМТ Д8-600



## Список літератури

1. Самородов В.Б. Основы матричного анализа трансмиссий транспортных машин // Информационные технологии: наука, техника, технология, оборудование, здоровье. – Харьков, 1997. – С. 378-379.
2. Самородов В.Б. Вывод кинематических базисных матриц и системный анализ кинематики ступенчатых механических и гидрообъемно-механических трансмиссий // Труды ХГПУ. – Харьков: 1999. – Вып. 7, в 4-х частях, ч. 2. – С. 134-141.
3. Александров Е.Е., Самородов В.Б. Системная технология проектирования трансмиссий на основе объектно-ориентированного подхода // Авиационно-космическая техника и технология. Тр. гос. аэрокосмической ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – 1999. – Вып. 11. – С. 39-42.
4. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Александров Е.Е., Лебедев А.Т., Самородов В.Б. и др. – Харьков: ХГАДТУ, 2001. – 642 с.
5. Рогов А.В. Матричный анализ трансмиссий, в состав которых входят обгонные муфты. – Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научн. тр. «Автомобиле- и тракторостроение». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 16. – С. 51-57.
6. Самородов В.Б. Рогов А.В. Введение понятия базисных динамических матриц тормозных элементов трансмиссий и результаты моделирования динамики торможения транспортного средства. – Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту. – 2002. – № 3(14). – С. 42-45.
7. Рогов А.В. Развитие методов расчета систем «двигатель – трансмиссия» автомобилей и тракторов: Дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.02. – Харьков, 2006. – 168 с.
8. Самородов В.Б. Системный подход к генерации математических матричных моделей для планетарных механических и гидрообъемно-механических трансмиссий произвольного вида // Вестник ХГПУ. – 1999. – Вып. 46. – С. 51-54.
9. Самородов В.Б., Рогов А.В. Объектно-ориентированный подход к моделированию трансмиссий в области транспортного машиностроения // Вестник ХГПУ, серия НРСТ. – Харьков. – 1999. – Вып. 66. – С. 48-53.
10. Таран И.А. Сравнение универсальных характеристик объемных и электрических передач как основных элементов трансмиссии дизелевоза // Науковий вісник НГУ. – 2009. – № 10. – С. 70-72.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. С.Е. Блохіним 19.11.09*

УДК 621.867.2

**К.В. Кузьминов, Я.Я. Лебедев, А.А. Новикова**

## ТЕПЛОВАЯ ЗАЩИТА ПРИВОДНОГО БАРАБАНА ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

Пропонується тепловий захист приводного барабана стрічкового конвеєра, що запобігає фрикційному нагріванню конвеєрної стрічки.

Предлагается тепловая защита приводного барабана ленточного конвейера, предотвращающая фрикционное нагревание конвейерной ленты.

Thermal defence of drive drum of band conveyer, preventing the friktionnoe heating of conveyer ribbon, is offered.

Конвейерный транспорт в настоящее время является наиболее распространенным средством доставки полезных ископаемых в горных выработках шахт и рудников. На многих (почти на всех) шахтах и рудниках применяется система полной конвейеризации с доставкой полезного ископаемого от забоя до поверхности шахты. В этих условиях конвейерная транспортная система оказывает значительное влияние на окружающую среду, т.к. является источником вредных и опасных производственных факторов.

При эксплуатации конвейерной транспортной системы в горных выработках шахт и рудников возникают аварийные ситуации, которые оказывают существенное влияние на уровень безопасности и технико-экономические показатели всей шахты. Многие из таких аварий приводят к тяжелым мате-

риальным и социальным потерям. Довольно часто возникает ситуация, когда лента пробуксовывает на приводном барабане, в результате чего футеровка барабана нагревается, и при достижении определённой температуры возможно загорание ленты и возникновение пожара. В угольной шахте это может быть причиной взрыва пылегазовоздушной среды с дальнейшими тяжелыми последствиями, в рудной – причиной заполнения горных выработок продуктами сгорания с опасными для жизни горнорабочих концентрациями в рудничной атмосфере. В связи с вышеуказанным, разработка способов и средств защиты конвейерного транспорта от аварий с целью повышения уровня их безопасности в сложных горно-геологических условиях шахт и рудников весьма актуальна.

Существует много конструкций защиты от пробуксовки ленты на приводном барабане. Одна из наиболее распространенных – это с датчиком скорости ленты, обеспечивающим отключение привода в случае пробуксовки. Одним из существенных недостатков данной системы защиты является ее инерционность, что приводит к высокотемпературному нагреванию ленты в момент пробуксовки до полной остановки приводного барабана.

С целью повышения эффективности работы защиты от пробуксовки ленты на приводном барабане авторами данной работы предлагается дополнительно установить непосредственно на приводном барабане температурный датчик. На рис. 1 изображено устройство для предупреждения скольжения конвейерной ленты. В обечайку 1 приводного барабана ввёрнут патрон 2, в котором находится палец 3 со съёмной головкой 4, залитый легкоплавким сплавом 5 с температурой плавления 90-100 °С, и пружина 6. Палец 3 шарнирно соединён с двуплечим рычагом 7, укреплённым на ступице 8 приводного барабана. Рычаг конечного выключателя 9, укреплённого на раме приводной головки конвейера, расположен ближе к центру барабана, чем двуплечий рычаг 7.

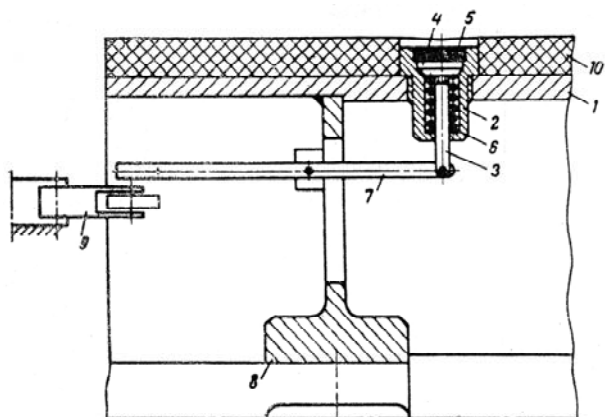


Рис. 1. Устройство для предупреждения скольжения конвейерной ленты

При пробуксовке барабана футеровка 10 нагревается и при достижении определённой температуры сплав 5 в патроне 2 расплавляется и выжимается наружу головкой 4 под воздействием пружины 6. При этом происходит поворот двуплечего рычага 4, который взаимодействуя с концевым выключателем 9, останавливает конвейер.

Для установки тепловой защиты в исходное положение после срабатывания палец 3 с рычагом 7 разъединяются, а патрон совместно с деталями заменяется запасным патроном с заранее залитым сплавом.

Для упрощения устройства предлагается термодатчик, выполненный в виде биметаллической пластины с отогнутым свободным концом (рис. 2).

Устройство содержит биметаллическую пластину 1, установленную на обечайке 2 барабана 3 и снабжённую отогнутым концом 4. На ступице 5 барабана 3 на оси 6 находится рычаг 7 с пружиной 8, которая

стремится его повернуть в горизонтальное положение.

На неподвижной части рамы конвейера установлен концевой выключатель 9 привода. В нормальном положении рычаг 7 удерживается отогнутым концом 4 пластины 1.

При пробуксовке ленты на футеровке 10 обечайки 2 барабана 3 нагреваются вместе с пластиной 1. За счёт разности коэффициентов теплового расширения металлов, из которых состоит пластина 1, её свободный конец 4 разгибается наружу и освобождает рычаг 7. Последний под действием пружины 8 поворачивается в горизонтальное положение и воздействует на выключатель 9, который выключает привод конвейера.

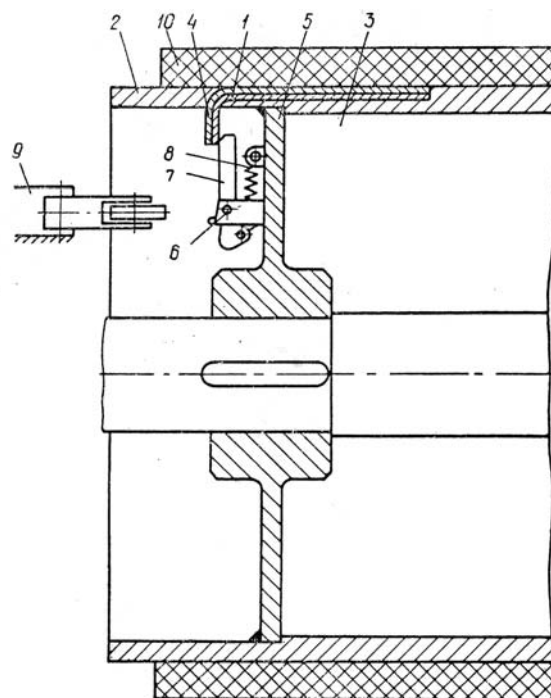


Рис. 2. Схема установки термодатчика

Для повышения надёжности устройства предлагается конструкция тепловой защиты, в которой количество подвижных частей сведено к минимуму (рис. 3).

Устройство содержит биметаллическую пластину 1, установленную на обечайке 2 барабана 3 и снабжённую отогнутым концом 4. На валу 5 барабана установлен коллектор, состоящий из неподвижного корпуса 6, выполненного для удобства сборки из двух половин, куда запрессован подшипник скольжения 7. Воздушные каналы 8 и 9 через кольцевые каналы 10 на валу барабана сообщаются соответственно с осевыми каналами 11 и 12, имеющими выход наружу через трубопроводы 13 и 14 соответственно. Трубопровод 13 имеет расширяющийся конус 15 на входе. К корпусу прикреплен пневматический преобразователь 16. Его основной частью является тонкая проволока 17, которая включена в одно из плеч мостовой схемы, и усилитель 18 (рис. 4).



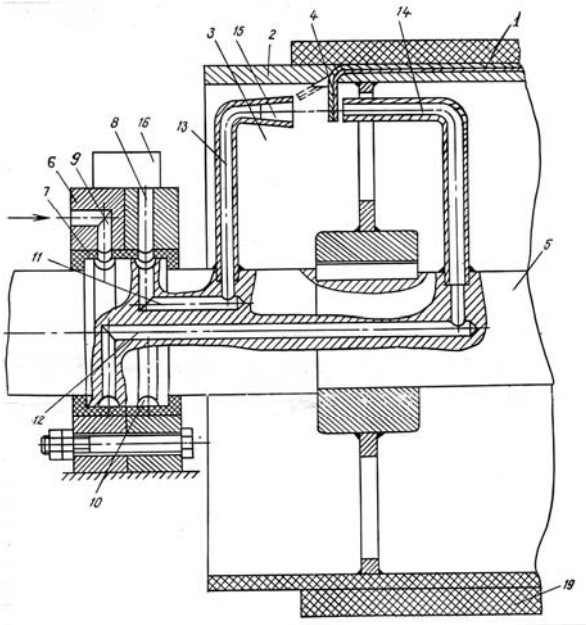


Рис. 3. Конструкція теплової захисти з підвищеною надійністю

Три остальных плеча образуют сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$ , причём  $R_1 = R_2$ , а сопротивление  $R_3$  настраивается таким образом, чтобы при отсутствии обдува проволоки 17 мост находился в равновесии.

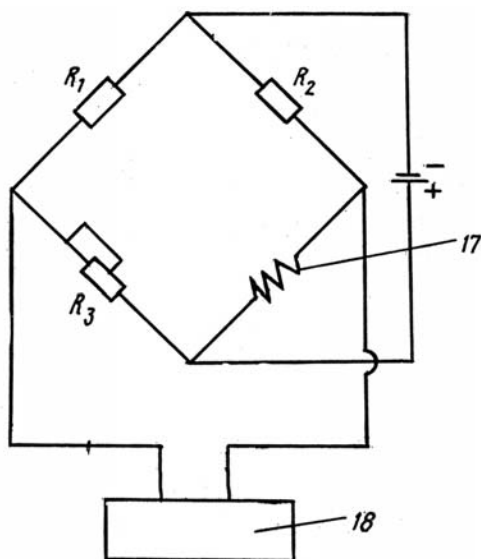


Рис. 4. Мостовая схема

При пробуксовке ленты на футеровке 19, закреплённой на обечайке 2, последняя нагревается вместе с пластиной 1, свободный конец 4 которой отгибается наружу и пропускает струю воздуха, нагнетаемую в канал 9 и проходящую через кольцевой канал 10 в осевой канал 12 и трубопровод 14, который в нормальном положении перекрывается свободным концом 4 биметаллической пластины 1.

При отгибании конца 4 воздух проходит в конус 15 и через трубопровод 13, осевой канал 11, кольцо

вой канал 10 и выходной канал 8 попадает в пневмоэлектрический преобразователь 16, проволока 17 которого охлаждается потоком воздуха. При охлаждении проволока меняет свое сопротивление, происходит разбаланс моста и появление электрического сигнала на входе усилителя 18, который даёт сигнал на отключение конвейера. В качестве источника движения струи может быть использован сжатый воздух.

Для упрощения конструкции и увеличения надёжности тепловой защиты предлагается температурный датчик, выполненный в виде замкнутой полости, заполненной водой и связанной каналами с исполнительным механизмом (рис. 5).

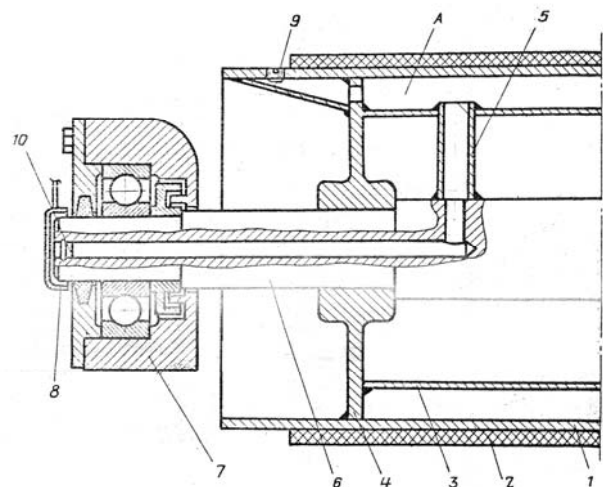


Рис. 5. Температурный датчик, выполненный в виде замкнутой полости

Обечайка 1 приводного барабана охватывается футеровкой 2. Внутренняя обечайка 3 и диска 4 создаёт замкнутую полость «А», заполненную водой, которая трубкой 5 соединяется с каналом вала 6, установленного в подшипниковых опорах 7. Рядом с торцом вала установлен отбойник 8, связанный с конечным выключателем. Вода заливается в отверстие, закрываемое пробкой 9, а внутренний канал вала закрыт эластичной пробкой 10, рассчитанной на воздействие определённой величины давления.

При пробуксовке ленты футеровка нагревается и передаёт тепло обечайке, вследствие чего температура залитой в полость «А» воды повышается и она начинает превращаться в пар.

При этом повышается давление пара, который выталкивает пробку 10 и воздействует на отбойник 8, связанный с конечным выключателем привода конвейера.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Голіньком 16.10.09

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ СИЛА ПРИЖАТИЯ ВЕДУЩИХ КОЛЕС ШАХТНОГО ЛОКОМОТИВА К РЕЛЬСОВОМУ ПУТИ

Запропоновано новий спосіб одержання додаткової сили притискання ведучих колес шахтних локомотивів до рейкового шляху та зроблено розрахунок поздовжньої стійкості вагонетки та локомотива з урахуванням цієї сили.

Предложен новый способ получения дополнительной силы прижатия ведущих колес шахтных локомотивов к рельсовому пути и выполнен расчет продольной устойчивости вагонетки и локомотива с учетом этой силы.

The new method of receipt of additional force of pinning of driving-wheels of mine locomotives is offered to the clotype way and the calculation of longitudinal stability of trolley and locomotive is executed taking into account this force.

Постоянное проскальзывание ведущих колес шахтного локомотива (буксование) часто достигает таких значительных величин, что вредный расход энергии на этот процесс соизмерим, а иногда и превышает 50% от общего расхода энергии на осуществление транспортирования [1]. Зависимость степени проскальзывания колес от силы прижатия их к рельсам в конкретных условиях пока не исследована. Известно, что при прочих равных условиях это проскальзывание (буксование) уменьшается с увеличением силы прижатия ведущих колес к рельсам.

Предельная сила тяги по сцеплению  $F_{\text{сц}}^{\text{макс}}$  теоретически определяется для момента начала срыва сцепления одной из ведущих осей локомотива и связана зависимостью:

$$F_{\text{сц}}^{\text{макс}} = P_{\text{сц}} \psi, \quad (1)$$

где  $P_{\text{сц}}$  – сила тяжести локомотива;  $\psi$  – коэффициент пропорциональности (сцепления).

Учитывая тот установленный факт, что даже незначительная сила тяги на ободу колеса локомотива сопровождается буксованием [2], коэффициент  $\psi$  можно считать коэффициентом трения скольжения колеса об рельс. Как показали исследования, величина его в определенных условиях может оставаться постоянной или несколько изменяться при увеличении скорости скольжения. Дополнительное к весу прижатие колес локомотива к рельсам сможет снизить интенсивность буксования и уменьшить вредный расход энергии, износ колес локомотива и рельсов. Рычажные схемы прижатия локомотива к рельсам с использованием силы тяжести для больших углов наклона выработки, вплоть до вертикальных, в свое время в Ленинградском горном институте были разработаны проф. В.С. Берсеневым [3, 4]. Для локомотивов, работающих практически в горизонтальных выработках (штреки, квершлагги), упомянутые или другие способы и средства дополнительного к весу прижатия локомотива к рельсам в настоящее время не применяются [5, 6].

Цель работы – повышение тягового усилия шахтных локомотивов путем использования массы прицепной части поезда. Предлагается новый способ и устройство, которое автоматически, в зависимости от силы тяги на крюке, дополнительно прижимает локомотив к рельсам за счет использования части веса прицепленной к нему вагонетки.

Суть предложения заключается в изменении способа прицепки локомотива к составу, за счет чего при тяге часть силы тяжести первой вагонетки прижимает локомотив к рельсам.

На рис. 1 показана схема гибкого прицепного устройства, на рис. 2 – варианты его крепления к локомотиву. Возможны также жесткие конструкции (тяги) с шарнирами по концам.

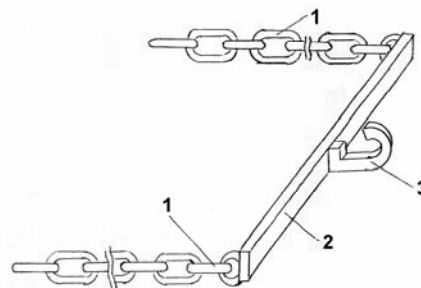


Рис. 1. Гибкое прицепное устройство: 1 – две тяговые цепи (могут быть жесткие тяги с шарнирами по концам); 2 – жесткая поперечина-балка; 3 – крюк для соединения с прицепным устройством вагонетки

Локомотив 1 имеет на корпусе или на дополнительных усиливающих корпус конструкциях в точках  $A_1, A_2, A_3, A_4$  или в любых других точках специальные устройства с двух сторон (крюки) для закрепления звеньев цепи прицепного устройства 4 по одной из линий  $BA_1; BA_2$  и др. Таким образом, вагонетка 3 перемещается по рельсовому пути 2 силой, направленной под углом  $\varphi$  по одному из вариантов прицепки ( $BA_1; BA_2$  и др.). Место соединения цепей с локомотивом (максимальный угол  $\varphi$  по линии  $BA_4$ ) выбирается в зависимости от массы первой вагонетки по условию ее устойчивости.

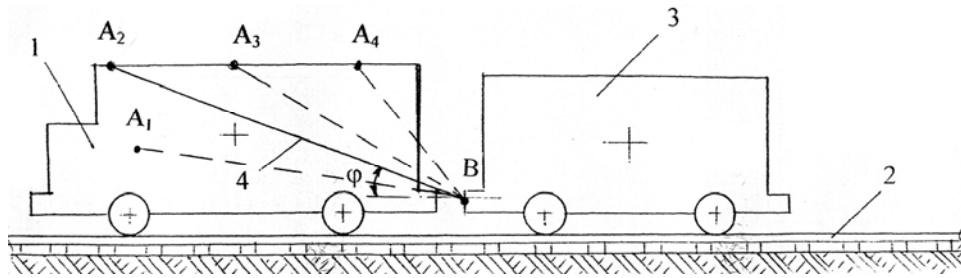


Рис. 2. Варіанти прицепки локомотива к составу

На рис. 3 показана схема внешних сил, которые во время движения действуют:

– на локомотив (в точках А, С, Д, Е): –  $F_{01}$  и  $F_{02}$  – касательные силы тяги на ободьях колес;  $F_A$  (или ее составляющие  $\Pi_1$  и  $W_{\text{сум}}$ ) – сила действия прицепного устройства;  $\Pi_1$  – дополнительная сила прижатия локомотива к рельсам;  $P_L$  – сила тяжести локомотива;  $R_{1л}, R_{2л}$  – силы реакции рельсов на силу тяжести;

– на вагонетку (в точках В, К, М,  $\vec{ZY}$ ): –  $F_B$  (или ее слагаемыми  $\Pi_1'$  и  $F_0$ ) – сила действия прицепного

устройства;  $F_0$  – сила тяги локомотива;  $\Pi_1'$  – сила подъема вагонетки;  $W_1, W_2, W_{\text{чз}}$  – силы сопротивления осей вагонетки, прицепной части поезда и суммарная сила сопротивления движению состава соответственно;  $P_B$  – сила тяжести вагонетки;  $R_{1в}, R_{2в}$  – силы реакции рельсов на колеса вагонетки;

– на прицепное устройство: (точки А, В) силы  $F_A'$  и  $F_B'$  – действия локомотива и вагонетки  $F_A$  и  $F_B$  на прицепное устройство.

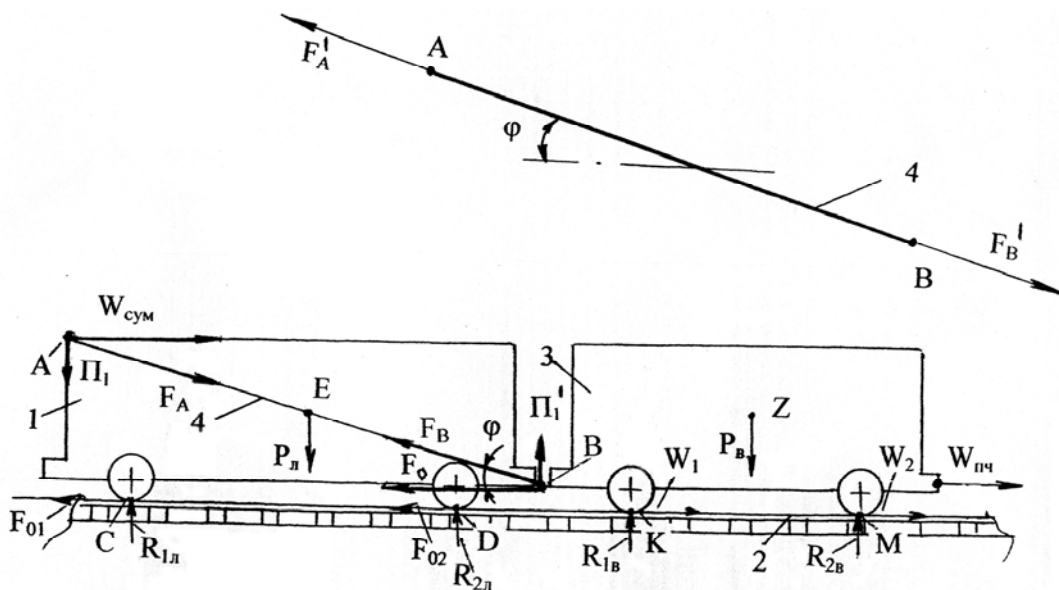


Рис. 3. Схема действия внешних сил на прицепное устройство, локомотив, вагонетку

Из рис. 3 видно, что дополнительная сила прижатия локомотива к рельсам определяется по формуле

$$\Pi_1 = W_{\text{сум}} \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

где  $W_{\text{сум}}$  – суммарная сила сопротивления движению состава;  $\varphi$  – угол наклона цепей (тяг) прицепного устройства к плоскости рельсов.

Как следствие, увеличивается предельная сила тяги локомотива по сцеплению:

$$F_{\text{сцл}}^{\text{макс}} = (P_{\text{сцл}} + \Pi_1) \cdot \psi.$$

Из выражения (2) видно, что при прочих равных условиях сила прижатия автоматически увеличивается при увеличении силы сопротивления движению поезда и угла  $\varphi$ . Например, при  $\varphi = 45^\circ$  сила прижатия  $\Pi_1$  будет равна силе сопротивления движению  $W_{\text{сум}}$ . С такой же силой  $\Pi_1'$ , но противоположной по знаку, приложенной в месте прицепки вагонетки к крюку прицепного устройства, она будет поднимать вагонетку вверх. При этом, в зависимости от силы тяжести передней вагонетки, может нарушиться ее продольная устойчивость с поворотом вокруг задней оси. В подобных случаях, которые легко поддаются расчету (проверка продольной устойчивости), уменьшается угол  $\varphi$ .

В расчетах параметров шахтных вагонеток коэффициент продольной устойчивости от вращения вокруг одной из колесных осей  $K_{\text{пн}}$  принимают равным 1,5-1,6 и определяют из соотношения:

$$K_{\text{пн}} = \frac{M_{\text{вос}}}{M_{\text{опр}}},$$

где  $M_{\text{вос}}$  и  $M_{\text{опр}}$  – восстанавливающий и опрокидывающий моменты (в нашем случае вокруг задней оси вагонетки) соответственно.

Схема сил для расчета продольной устойчивости вагонетки представлена на рис. 4.

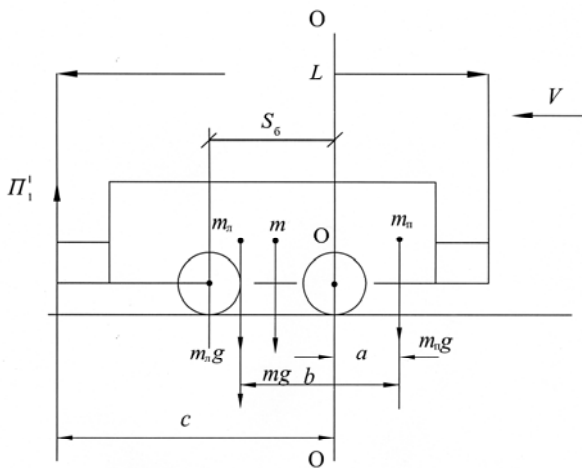


Рис. 4. Схема для расчета продольной устойчивости вагонетки:  $P'_1$  – сила подъема переднего конца вагонетки от прицепного устройства;  $mg$  – сила тяжести вагонетки;  $m_n g$  и  $m_n g$  – силы тяжести вагонетки, разделенные линией  $O-O$  на левую ( $m_n$ ) и правую ( $m_n$ ) части;  $a, b, c$  – расстояние от линии  $O-O$  до сил  $m_n g, m_n g$  и  $P'_1$  соответственно;  $L$  – длина вагонетки;  $S_6$  – жесткая база вагонетки;  $m$  – масса вагонетки

Расстояния от центра вращения  $O$  до линии действия сил:

$$\text{силы тяжести правой части вагонетки } a = \frac{L - S_6}{4};$$

$$\text{левой части вагонетки: } b = \frac{L + S_6}{4};$$

$$\text{силы подъема } P'_1: c = \frac{L + S_6}{2}.$$

Предполагаем, что вес вагонетки  $m$  по длине  $L$  распределяется равномерно, линейная масса  $q = \frac{m}{L}$ .

Тогда:

– сила тяжести правой части

$$m_n g = \frac{mg}{L} \cdot \left( L - \frac{L + S_6}{2} \right) = \frac{mg(L - S_6)}{2L};$$

– сила тяжести левой части

$$m_n g = \frac{mg}{L} \cdot \left( \frac{L + S_6}{2} \right) = \frac{mg(L + S_6)}{2L}.$$

Опрокидывающий вокруг оси  $O$  момент сил равен

$$M_{\text{опр}} = M'_{\text{опр}} + M''_{\text{опр}},$$

где  $M'_{\text{опр}}$  и  $M''_{\text{опр}}$  моменты силы тяжести  $m_n g$  и силы подъема от прицепного устройства  $P'_1$ .

Момент от силы тяжести  $m_n g$

$$\begin{aligned} M'_{\text{опр}} &= m_n g \cdot a = \frac{mg(L - S_6)}{2L} \cdot \frac{(L - S_6)}{4} = \\ &= \frac{mg(L - S_6)^2}{8L}. \end{aligned} \quad (3)$$

Момент от силы подъема  $P'_1$  (2):

$$M''_{\text{опр}} = P'_1 \cdot c = P'_1 \cdot \left( \frac{L + S_6}{2} \right) = \frac{P'_1(L + S_6)}{2}. \quad (4)$$

Суммарный опрокидывающий момент (3) и (4):

$$M_{\text{опр}} = \frac{mg(L - S_6)^2}{8L} + \frac{P'_1(L + S_6)}{2}.$$

Восстанавливающий момент от силы  $m_n g$

$$\begin{aligned} M_{\text{вос}} &= m_n g \cdot b = \frac{mg(L + S_6)}{2} \cdot \frac{(L + S_6)}{4} = \\ &= \frac{mg(L + S_6)^2}{8L}. \end{aligned} \quad (5)$$

Из (5) и (3) имеем коэффициент продольной устойчивости вагонетки (без силы  $P'_1$ )

$$K_{\text{пн}} = \frac{mg(L + S_6)^2}{8L} \cdot \frac{8L}{mg(L - S_6)^2} = \frac{(L + S_6)^2}{(L - S_6)^2}. \quad (6)$$

Коэффициент продольной устойчивости при наличии силы  $P'_1$ :

$$\begin{aligned} K'_{\text{пн}} &= \frac{mg(L + S_6)^2}{8L} \Bigg/ \left[ \frac{mg(L - S_6)^2}{8L} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{P'_1 \cdot (L + S_6)^2}{2} \right]. \end{aligned} \quad (7)$$

Как видно из (7), при  $P'_1 = 0$  выражения (6) и (7) одинаковы, то есть в этом случае  $K_{\text{пн}}$  не зависит от массы вагонетки.

При увеличении силы  $\Pi_1'$  от нуля до предельного значения  $\Pi_1'^{\text{макс}}$  по устойчивости вагонетки  $K_{\text{пу}}$  будет изменяться от максимального значения по выражению (6) до единицы, т.е. когда числитель и знаменатель в выражении (7) будут равны:

$$\frac{mg(L+S_6)^2}{8L} = \frac{mg(L-S_6)^2}{8L} + \Pi_1'^{\text{макс}} \frac{(L+S_6)}{2}.$$

Отсюда для  $K=1$  имеем

$$\begin{aligned} \Pi_1'^{\text{макс}} &= \left[ \frac{mg(L+S_6)^2}{8L(L+S_6)} - \frac{mg(L-S_6)^2}{8L(L+S_6)} \right] \cdot \frac{(L+S_6)}{2} = \\ &= \frac{mgS_6}{(L+S_6)}. \end{aligned}$$

При заданном значении  $K_{\text{пу}}$  и массе передней вагонетки  $m$  допустимая сила  $\Pi_1'^{\text{доп}}$  равна

$$\Pi_1'^{\text{доп}} = \frac{mgS_6}{(L+S_6) \cdot K_{\text{пу}}}. \quad (8)$$

При известной массе состава  $zm$  необходимая сила тяги (суммарная сила сопротивления движению определяется):

$$W_{\text{сум}} = mzg(w \pm i + \Delta a), \quad (9)$$

где  $m$  – масса вагонетки;  $z$  – число вагонеток в составе;  $w$  и  $i$  – соответственно коэффициенты сопротивления движению от трения и уклона;  $a$  – ускорение движения состава;  $\Delta$  – коэффициент, учитывающий сопротивление от инерции вращающихся масс состава.

Угол наклона прицепного устройства:

$$\varphi = \arctg \frac{\Pi_1'^{\text{доп}}}{W_{\text{сум}}}. \quad (10)$$

Аналогично устойчивости вагонетки рассматривается продольная устойчивость локомотива, которая изменяется от действия силы  $W_{\text{сум}}$  (рис. 3). Последняя стремится вращать локомотив относительно оси заднего колеса. Плечо этой силы равно  $h_{\text{л}}$  – высоте от ее линии действия до плоскости осей (высоте крепления прицепного устройства).

Аналогично при равномерном распределении массы локомотива по его длине имеем коэффициент продольной устойчивости локомотива:

$$K'_{\text{пул}} = \frac{mg(L_{\text{л}}+S_{\text{6л}})^2}{8L_{\text{л}}} \Big/ \frac{m_{\text{л}}g(L_{\text{л}}-S_{\text{6л}})^2}{8L_{\text{л}}} + W_{\text{сум}} \cdot h_{\text{л}}. \quad (11)$$

Из этого выражения определяется величина уменьшения продольной устойчивости локомотива путем сравнения значений  $K'_{\text{пул}}$ , полученных при  $W_{\text{сум}} = 0$  и действительного значения  $W_{\text{сум}}$ , которое можно принять равным максимальной силе тяги по двигателю. Здесь индекс «л» возле всех букв выражения (11) относится к локомотиву.

Дополнительная сила прижатия  $\Pi_1$  распределяется между осями пропорционально отрезкам жесткой базы  $S'_{\text{6л}}$  и  $S'_{\text{6п}}$ , на которые ее делит линия действия этой силы. Так при  $S'_{\text{6л}} = 0$  сила  $\Pi_1$  воспринимается

левой (передней) осью, при  $\frac{S'_{\text{6л}}}{S'_{\text{6п}}} = 1$ ,  $\Pi_{1\text{л}} = \Pi_{2\text{п}} = \frac{\Pi_1}{2}$ ,

при  $S'_{\text{6п}} = 0$  сила  $\Pi_1$  воспринимается правой осью. Зная конструктивную загрузку осей вертикальными силами (силы прижатия от веса), определяется место установки прицепного устройства для одинаковой загрузки осей.

На основании изложенного выше рекомендуются следующие возможные варианты определения установочных параметров при применении нового прицепного устройства.

Производится обычный расчет массы поезда при известной массе локомотива, определяется сила тяги (сила сопротивления) по формуле (9), при этом известна масса первой вагонетки (с грузом и пустая). Определяется по (8) допустимая сила подъема вагонетки, по (10) находится угол наклона прицепного устройства.

При применении нового прицепного устройства для уменьшения буксования и энергозатрат на транспортирование возможно решение ряда практических задач, например:

1. Определение угла установки прицепного устройства для получения максимальной силы прижатия локомотива, если поезд уже сформирован.

Алгоритм решения:

– определяется сила тяги (9) (сопротивления движению состава) для наиболее нагруженного режима (например трогание груженого поезда на подъем)  $W_{\text{сум}}$ ;

– по формуле (8) определяется  $\Pi_1'^{\text{доп}}$ , а по формуле (10) – угол установки прицепного устройства.

В этом случае предельную силу тяги можно не определять, а принять по характеристике локомотива для часового режима работы.

Проверка угла установки прицепного устройства осуществляется для груженого и порожнего поездов.

2. Определение предельной массы передней вагонетки при максимальном угле установки прицепного устройства (по конструкции), если сила тяги (сопротивление движений  $W_{\text{сум}}$ ) рассчитана по формуле (1) или принята по часовому режиму нагрузки локомотива. Алгоритм решения: по формуле (8) определяется масса передней вагонетки для принятого коэффициента продольной устойчивости  $K_{\text{пу}}$ .

Следует отметить, что при одной и той же весовой норме поезда ее можно реализовать, в зависимости от насыпной плотности перевозимого груза, ва-

гонетками различной массы. В первом случае возможно недоиспользование роли нового прицепного устройства из-за требуемого по устойчивости малого угла наклона. Поэтому не исключена возможность применения специальных утяжеленных передних вагонеток. Такое решение может потребоваться при перевозке угля, породы в угольных шахтах вагонетками малой грузоподъемности. В таких случаях, как и в задаче 2, определяется необходимая масса переднего вагона  $m_n$ , а разность с массой рядового вагона  $m$  составляет дополнительную нагрузку.

Определить достаточно точно экономическую, энергетическую и техническую целесообразность такого варианта возможно, если во время эксплуатации поездов по данному маршруту будет определена степень (интенсивность) буксования. Это подтверждает необходимость создания несложных систем по контролю буксования в периодическом или постоянном режиме и внедрения их в горную промышленность.

#### **Список литературы**

1. Ренгевич А.А. Энергетический баланс рудничных электровозов // Вопросы рудничного транспорта. – 1961. – Вып. 5. – С. 247-257.
2. Ренгевич А.А. Коэффициент сцепления шахтных электровозов // Вопросы рудничного транспорта. – 1961. – Вып. 5. – С. 232-247.
3. Берсенев В.С. О развитии самоходных рельсовых транспортных устройств с гладкими ведущими колесами // Записки Ленинградского горного института. – 1970. – Т. LX. – Вып. 1. – С. 3-20.
4. Берсенев В.С. Тяговые устройства с гладкими ведущими колесами и перспективы их применения в горной промышленности // Записки Ленинградского горного института. – 1975. – Т. LXVII. Вып. 1. – С. 249-256.
5. Мельников С.А., Будишевский В.А., Бережинский В.И. Совершенствование действующих и создание новых шахтных локомотивов // Уголь Украины. – 2009. – № 5. – С. 12-15.
6. Фаузер Г. Непрерывная транспортная система с индивидуальным приводом // Глюкауф. – 1993. – № 1. – С. 19-21.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. В.І. Самусею 15.10.09*

УДК 681.515:519.7:62-52

В.І. Корнієнко

## ІЄРАРХІЧНЕ АДАПТИВНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ РУДОПІДГОТОВКИ ЗА СИНЕРГЕТИЧНИМ ПРИНЦИПОМ З ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМ ПРОГНОЗУВАННЯМ

Розроблено ієрархічні адаптивні системи оптимального керування нелінійними процесами рудопідготовки з інтелектуальним прогнозуванням стану об'єкта керування, що забезпечує синтез і реалізацію оптимального керування за синергетичним принципом в процесі функціонування. Виконано оцінку ефективності таких систем для керування процесом здрібнювання.

Разработаны иерархические адаптивные системы оптимального управления нелинейными процессами рудоподготовки с интеллектуальным прогнозированием состояния объекта управления, которые обеспечивают синтез и реализацию оптимального управления по синергетическому принципу в процессе функционирования. Выполнена оценка эффективности таких систем для управления процессом измельчения.

The hierarchical adaptive systems of optimal control of nonlinear processes of communiton with intellectual prediction of the state of object control which provide synthesis and realization of optimal control acceding to the synergetic principle in real-time are developed. The estimation of efficiency of such systems is executed in order to control the process of grinding.

**Вступ.** Рудопідготовка містить у собі технологічні процеси дроблення і здрібнювання, витрати на які складають половину собівартості гірничо-збагачувального виробництва. Тому актуальним є підвищення ефективності цих процесів, наприклад, шляхом створення систем автоматичного керування (САК) ними.

Процеси рудопідготовки є складними об'єктами керування (ОК) з нестационарними параметрами, нелінійними залежностями і стохастичними змінними, які мають значні транспортні запізнювання [1]. Це викликає необхідність використання в САК цими процесами алгоритмів адаптації моделей і законів керування до реальних умов функціонування.

**Стан питання.** Технологічний принцип керування процесами дроблення і здрібнювання полягає у максимізації швидкості скорочення класів руди, крупніших за граничне зерно в кінцевому продукті і мінімізації швидкості для класів, дрібніших від граничного зерна.

Крім забезпечення якості продукту, процеси рудопідготовки повинні бути погоджені по продуктивності. Для технологічного процесу здрібнювання керування необхідно здійснювати з метою максимізації продуктивності по готовому класу:

$$Q_{got} \rightarrow \max \quad (1)$$

при обмеженнях на припустиму потужність  $P \leq P_{\max}$ , що забезпечує мінімізацію експлуатаційних витрат [1-3].

Результати досліджень процесів дроблення і здрібнювання [1, 3, 4] визначають їх нелінійними багатозв'язними ОК зі змінною структурою (режимом динаміки) і параметрами, що залежать від властивостей руди, конструктивних і технологічних змінних.

При цьому для автоматичного керування процесами рудопідготовки широке поширення

одержали системи, що використовують або спрощені динамічні моделі ОК і реалізують екстремальне регулювання, або статичну оптимізацію ОК [1-4]. Однак такі системи в умовах варіації збурювань (якості руди) і змінних режимів роботи устаткування не можуть забезпечити ефективне керування нелінійними процесами рудопідготовки [5].

Розмаїтість технологічних схем рудопідготовки і складність її процесів зумовлює використання ієрархічних САК, верхній рівень яких синтезує оптимальне керування, що являє собою завдання, яке відпрацьовується на ОК локальними системами регулювання нижнього рівня.

Відносно оптимального керування одним з ефективних для складних нелінійних ОК є синергетичний принцип [6, 7]), при якому зовнішні впливи подають у виді інформаційних моделей, що поєднують (агрегують) у загальну структуру розширеної системи. Тоді проблема керування формулюється як задача пошуку законів взаємодії в розширеній системі, де виникають процеси самоорганізації, тобто виникає кінцеве число атракторів – сталих режимів роботи (принцип розширення-стиску фазового простору [6]).

Метод синтезу керування в такій постановці одержав назву аналітичного конструювання агрегованих регуляторів, що спільно використовує теорії стійкості Ляпунова та оптимального керування [6, 7].

Синергетичне оптимальне керування вимагає відповідної апріорної (адекватні прогнозуючі моделі) та апостеріорної (поточні виміри і результати обробки) інформації. Це потребує застосування маловитратних і ефективних засобів оцінювання й ідентифікації, для чого найбільш перспективним є використання методів систем штучного інтелекту, зокрема, нейронних мереж (НМ) і систем з нечіткою логікою, що здатні до навчання і є універсальними та ефективними апроксиматорами [8].



Прогнозуюча модель ОК має вигляд [5]:

$$Y[k+1] = \Phi\{Y[k], u[k], w[k], \xi[k], a[k], k\}; k = \overline{k_j, k_{j+1}-1}, \quad (2)$$

де  $\Phi$  – узагальнена функція (алгоритм) перетворення;  $Y[k], u[k], w[k], \xi[k], a[k]$  – вектори (матриці) стану процесу, його керування, збурювання, завад і параметрів до поточного часу  $k$  з відповідними глибинами пам'яті;  $k_j, k_{j+1}$  – початкові такти послідовних етапів (циклів) оптимального керування.

Нестационарність і стохастичність ОК із запізнюванням потребує створення адаптивних САК, які ефективні в умовах збурювань і неконтрольованих змін властивостей ОК [9].

Таким чином, невирішеним є завдання створення оптимальних за синергетичним принципом ієрархічних адаптивних САК нелінійними процесами дроблення і здрібнювання з інтелектуальним прогнозуванням.

**Метою статті** є розробка ієрархічних адаптивних САК (оптимальних за синергетичним принципом з інтелектуальним прогнозуванням) нелінійними нестационарними стохастичними процесами рудопідготовки із запізнюванням, а також оцінка ефективності цих САК.

**Ієрархічні адаптивні оптимальні системи автоматичного керування (АОСАК).** Структура ієрархічної АОСАК наведена на рис. 1 і визначається принципом поділу [9]. Відповідно до нього АОСАК складається з підсистеми оцінювання й ідентифікації та підсистеми оптимального керування, які утворюють перший (верхній) рівень керування, та підсистеми локального регулювання – другий (нижній) рівень керування.

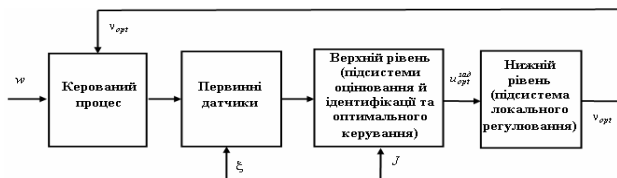


Рис. 1. Загальна структура ієрархічної АОСАК

Керований процес в умовах впливу збурювань  $w$  контролюється датчиками з помилками вимірів  $\xi$ . Вектор сигналів спостереження надходить у підсистему оцінювання й ідентифікації, на виході якої формується оцінка вектора стану, оцінка вектора параметрів та оцінка структури моделі керованого процесу.

Підсистема оптимального керування на основі моделі керованого процесу, поточної оцінки вектора стану і критерію керування  $J$ , що надходить від системи старшого рівня, формує оптимальне завдання на керування  $u_{opt}^{зад}$  для підсистеми локального регулювання, яка впливає на керований процес  $v_{opt}$ .

Керування повинно здійснюватися з випередженням на час, більший суми часу чистого запізнювання в системі, а також часу пошуку та реалізації керування. Тоді виходом моделі ОК (2) є оцінка прогнозу стану процесу глибиною  $n \geq 1$  (задача ідентифікації):

$$\widehat{Y}[k+n] = \Phi_{\bar{y}}\{Y[k], u[k], w[k], \xi[k], a_{\bar{y}}[k], k\}, \quad (3)$$

де  $a_{\bar{y}} \subset a$ .

При різних запізнюваннях в каналах ОК  $n_z$  (збурювання, керування і виходу) в моделі (3) аргументи оцінюються за допомогою каналних прогнозуючих фільтрів (задача спостереження):

$$\widehat{Z}[k] = \Phi_{\bar{z}}\{Z[k-n_z+1], \xi_{\bar{z}}[k], a_{\bar{z}}[k], k\}, \quad (4)$$

де  $\{Y[k], u[k], w[k]\} \subset \widehat{Z}[k]$  і  $a_{\bar{z}} \subset a$ . Тут  $\widehat{Z}[k]$  – вектор (матриця) оцінки стану каналу системи;  $\Phi_{\bar{z}}$  – узагальнена функція перетворення;  $Z[k-n_z+1], \xi_{\bar{z}}[k], a_{\bar{z}}[k]$  – вектор (матриця) відомих (вимірних) значень передісторії стану каналу (до моменту часу  $k-n_z+1$ ), шуми вимірювань та параметри фільтра.

Оцінювання та ідентифікація нелінійних динамічних процесів рудопідготовки складається з визначення характеристик стану ОК та його структурно-параметричної ідентифікації [10]. Перша процедура дозволяє визначити режими функціонування ОК і розмірності його координат, за якими формується вектор оцінки стану ОК  $\widehat{Z}[k]$ . А процедура структурно-параметричної ідентифікації визначає структуру  $\widehat{\Phi}$  (шляхом генерування та селекції моделей по критеріях структурної оптимізації) та параметри  $\widehat{a}$  (шляхом параметричної оптимізації по критеріях регулярності) моделі ОК.

Це дозволяє ідентифікувати ОК у класі прогнозуючих чітких і нечітких НМ моделей, які легко адаптуються під змінювані режими функціонування ОК і відповідно є ефективними засобами моделювання складних систем.

Нехай моделі процесів рудопідготовки вигляду (4) мають лінійно вхідне керування:

$$\widehat{Y}[k+n] = \phi(x[k], \xi[k], a_{\phi}[k], k) + \psi(x[k], \xi[k], a_{\psi}[k], k) \cdot u[k], \quad (5)$$

де відповідно до (4)  $\{Y[k], w[k]\} \subset \{x[k]\}$ ,  $\{a_{\phi}, a_{\psi}\} \subset a_{\bar{y}}$ ,  $\{\phi, \psi\} \subset \Phi_{\bar{y}}$ .

Синтез оптимального керування полягає у визначенні закону керування, що забезпечує зближення стану ОК (5) із бажаним режимом роботи (атрактором – цільовою макрозмінною):

$$\Psi[x[k]] = \Psi(x[k]) = 0$$

і наступний асимптотично стійкий рух ОК уздовж нього до початку координат фазового простору.

Функціональне рівняння Ейлера-Лагранжа [6]:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial x} \cdot \psi(x) \cdot u + \frac{\partial \Psi}{\partial x} \cdot \phi(x) + T_n^{-1} \cdot \phi(\Psi) = 0; T_n > 0$$

відповідно до (5) в дискретній формі має підродину стійких екстремалей у вигляді:

$$\Psi[k+1] \cdot \psi(x[k]) \cdot u[k] + \Psi[k+1] \cdot \phi(x[k]) + T_{\delta}^{-1} \cdot \varphi(\Psi[k]) = 0; \quad T_{\delta} > 1,$$

які визначають закон керування

$$u[k] = -\{\Psi[k+1] \cdot \psi(x[k])\}^{-1} \cdot \{\Psi[k+1] \cdot \phi(x[k]) + T_{\delta}^{-1} \cdot \varphi(\Psi[k])\}, \quad (6)$$

що доставляє мінімум супровідному функціоналу

$$J_1 = E \left\{ \sum_{k=k_j}^{k_{j+1}-n-1} \{T_{\delta}^2 \cdot \Delta\Psi^2[k+1] + \varphi^2(\Psi[k])\} \right\},$$

де  $E$  – математичне очікування;  $T$  – період дискретизації;  $\Delta\Psi[k+1] = (\Psi[k+1] - \Psi[k])/T$  – перша різниця;  $T_n, T_{\delta}$  – позитивно визначені коефіцієнти,  $\varphi$  – диференційована функція, яка характеризує потрібну якість перехідних процесів ОК ( $\varphi(0) = 0$ ).

Для умов обмеженої апріорної інформації доцільно використовувати адаптивні системи автоматичного регулювання (САР). Синтез керування в них полягає в адаптації коефіцієнтів моделі ОК по каналу регулювання  $\hat{Y}_v$  (наприклад, вигляду (3)) за величиною її похибки, обчисленні прогнозу за адаптованою моделлю і визначенні за завданням на керування  $u_{opt}^{zad}$  ( $u[k]$  згідно з (6)) регулюючого впливу  $v_{opt}$ , що реалізується на ОК [11]:

$$v_{opt}[k] = \Phi_{САР} \{u_{opt}^{zad}[k_j, k_{j+1} - n - 1], \hat{Y}_v[k + n_v]\}, \quad (7)$$

де  $\hat{Y}_v[k + n_v]$  – оцінка прогнозу по каналу регулювання ОК глибиною  $n_v$ ;  $\Phi_{САР}$  – функція (алгоритм) синтезу закону регулювання адаптивної САР.

Таким чином, алгоритм роботи ієрархічної АОСАК за синергетичним принципом із прогнозуючою моделлю складається з етапів:

1) оцінка поточного стану ОК в моменті початку чергового циклу керування ( $k_j$ ) згідно з (4);

2) ідентифікація структури  $\Phi_{\hat{Y}}$  та параметрів  $a$  моделі ОК (3);

3) прогнозування вільного руху ОК за моделлю (3) (у модифікації (5)) на заданому інтервалі  $[k_j + n, k_{j+1} - 1]$  оптимізації керування;

4) обчислення цільової макрозмінної  $\Psi[k+1]$  для поточного стану ОК і формування сигналу оптимального керування згідно з (6);

5) реалізація на ОК у відповідності з оптимальним керуванням регулюючих впливів згідно із (7).

**Ієрархічна АОСАК процесом мокрого самоздрібнювання (МСЗ).** Розглянемо для прикладу побудову ієрархічної АОСАК процесом МСЗ, наприклад, в млинах мокрого самоздрібнювання (ММС) в комплексі зі спіральним класифікатором (СК), що в технологічних схемах із

самоздрібнюванням є першою (або єдиною) стадією здрібнювання.

Для процесу МСЗ вихідними змінними є вміст готового класу крупності у вихідному продукті (зливні КС)  $\gamma_k$ , продуктивність по готовому класу  $Q_{zom}$  і споживана потужність  $P$ . Його керуючими впливами є продуктивність по вхідній руді  $Q_p$ , витрати води в КС  $B_k$  і в ММС  $B_m$ , а збурюваннями – гранулометричний склад вхідної руди  $\gamma_p$ , її фізико-механічні та речовинні властивості  $\zeta$ , витрата пісків  $\Pi$ , густина  $\rho_m$  і гранулометричний склад  $\gamma_m$  пульпи на виході млина, стан футеровок тощо [1-3].

Для реалізації технологічної цілі керування (1) використовуються звичайно три САР [1, 2]:

– стабілізації густини зливу класифікатора  $\rho_k$ , що знижує дисперсію гранулометричного складу зливу класифікатора, а також підтримує необхідні щільнісні режими подальших стадій збагачення;

– стабілізації відношення тверде-рідке в млині  $\Delta_m = (Q_p + \Pi) / B_m$ , що поліпшує режими здрібнювання й транспортування руди через млин;

– стабілізації ефективного значення внутрішньомлинового заповнення  $\theta$ , що дозволяє використовувати млин у режимі максимально можливої в конкретних умовах продуктивності й знизити питому витрату електроенергії (мінімум енергії руйнування досягається при максимумі можливого заповнення).

Ці локальні САР спрямовані на досягнення якісних показників процесу МСЗ, але проєктуються й функціонують автономно (зв'язані лише через ОК). Крім того, в них як регульовані використовуються показники  $\rho_k$ ,  $\Delta_m$  і  $\theta$ , які посередньо характеризують продуктивність по готовому класу, що входить в ціль (1). Таким чином, для процесу МСЗ доцільно використовувати ієрархічну АОСАК, верхній рівень керування якої на основі залежності  $Q_{zom}$  від  $\{\rho_k, \Delta_m, \theta\}$  визначає оптимальні завдання для розглянутих трьох локальних САР нижнього рівня.

Моделі каналів регулювання ОК відповідно до (3) можуть бути подані у вигляді:

$$\hat{\rho}_k[k + n_{\rho}] = \Phi_{\rho} \{\rho_k[k], B_k[k], \gamma_m[k], \rho_m[k], \xi[k], a_{\rho}[k], k\}; \quad (8)$$

$$\hat{\Delta}_m[k + n_{\Delta}] = \Phi_{\Delta} \{\Delta_m[k], B_m[k], \xi[k], a_{\Delta}[k], k\}; \quad (9)$$

$$\hat{\theta}[k + n_{\theta}] = \Phi_{\theta} \{\theta[k], Q_p[k], \gamma_p[k], \zeta[k], \Pi[k], \xi[k], a_{\theta}[k], k\}, \quad (10)$$

де згідно з (3)  $\{a_{\rho}, a_{\theta}, a_{\Delta}\} \subset a$ ;  $\{\Phi_{\rho}, \Phi_{\theta}, \Phi_{\Delta}\} \subset \Phi_{\hat{Y}}$ ,  $\{\hat{\rho}_k, \hat{\Delta}_m, \hat{\theta}\} \subset \hat{Y}$  і  $v = \{B_k, B_m, Q_p\} \subset u$  (див. рис. 1).

Тоді модель процесу МСЗ по вихідній координаті (продуктивності по готовому класу) має вигляд:

$$\hat{Q}_{zom}[k + n] = \Phi_{\hat{Q}} \{Q_{zom}[k], \rho_k[k], \theta[k], \Delta_m[k], \gamma_p[k], \zeta[k], \xi[k], a_{\theta}[k], k\}, \quad (11)$$

де  $u = \{\rho_k, \Delta_m, \theta\}$ .

Перехід від моделі ОК вигляду (3) і (11) до моделі з лінійно вхідним керуванням вигляду (5) легко виконується, якщо у якості керування використовувати не координату ОК, а її швидкість:

$$\rho^*[k] = \rho_\kappa[k] - \rho_\kappa[k-1]; \quad (12)$$

$$\Delta^*[k] = \Delta_m[k] - \Delta_m[k-1]; \quad (13)$$

$$\theta^*[k] = \theta[k] - \theta[k-1]. \quad (14)$$

При цьому модель процесу МСЗ (11-14) набуває розширеного вигляду:

$$\begin{bmatrix} \bar{Q}_{zom}[k+n] \\ u^T[k] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Phi_{\bar{Q}} \\ I \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} \cdot u^*[k] \quad (15)$$

або більш компактно

$$\bar{Q}_{zom}[k+n] = \bar{\phi} + \bar{\psi} \cdot u^*[k], \quad (16)$$

де  $I$  – одинична матриця;  $\bar{Q}_{zom}[k+n] = \{\bar{Q}_{zom}[k+n], u[k]\}^T$ ;  $\bar{\phi} = \{\Phi_{\bar{Q}}, u[k-1]\}^T$ ;  $\bar{\psi} = \{0, I\}^T$ ;  $u^* = \{\rho^*, \Delta^*, \theta^*\}$ .

Таким чином, результатом оцінювання стану процесу МСЗ є формування вектора:

$$\hat{Z} = \{\gamma_\kappa, Q_{zom}, P, \rho_\kappa, \theta, B_\kappa, B_m, Q_\rho, \gamma_m, \rho_m, \gamma_p, \zeta, \Pi\}. \quad (17)$$

Оптимальними структурами моделей процесів рудопідготовки є рівняння ОК на основі НМ прямого поширення, які мають вигляд рівняння згортки [10]:

$$\bar{Q}_{zom}[k+n] = \sum_{\tau \in R} \Phi_{QN} \left\{ \sum_{l \in G} v_l[\tau] \cdot \Phi_l \left( \sum_{m \in G} v_{l,m}[\tau] \cdot y_m[k-\tau] \right) \right\}, \quad (18)$$

де  $R$  – множина глибини пам'яті відповідних входів;  $\Phi_{QN}$  – активаційна функція вихідного шару НМ;  $G$  – множина входів нейронів;  $l$  – порядковий номер входу вихідного шару НМ;  $v_l$  – вагові коефіцієнти вихідного шару;  $\Phi_l$  – активаційна функція нейронів прихованого шару;  $m$  – порядковий номер входу НМ;  $v_{l,m}$  – вагові коефіцієнти зв'язку  $m$ -го входу і  $l$ -го нейрона;  $y_m$  – вхід НМ.

Параметрами НМ (18) є  $\{v_l, v_{l,m}\} \subset a$ , а її входами згідно з (4) і (11) –  $\{\bar{Q}_{zom}[k], \hat{Z}[k]\} \subset \{y_m[k-\tau]\}$ .

Оскільки цілло керування є задача максимізації (1), то переформулюємо її в задачу мінімізації:

$$(Q_{\max} - Q_{zom}) \rightarrow \min, \quad (19)$$

де  $Q_{\max}$  – максимально можлива продуктивність процесу МСЗ по готовому класу.

Бажаним режимом роботи ОК на наступному такті, що відповідає (19), є цільова макрозмінна:

$$\Psi[k+1] = Q_{\max} - \bar{Q}_{zom}[k+n] = 0, \quad (20)$$

яка однакова для кожного каналу керування  $u^*$ :  $\Psi_\rho^* = \Psi_\theta^* = \Psi_\Delta^* = \Psi$ .

Для моделі ОК (16) і макрозмінної (20) функціональні рівняння підроддини стійких екстремалей рівні:

$$\Psi[k+1] \cdot \{\bar{\phi}(x[k]) + \bar{\psi}(x[k]) \cdot u^*[k]\} + T_\theta^{-1} \cdot \Psi[k] = 0,$$

де  $T_\theta = \{T_\rho, T_\Delta, T_\theta\}$  – зведені постійні часу по каналах керування;  $\{\bar{Q}_{zom}, u\} \subset x$ ;  $\phi(\Psi) = \Psi$ .

Тоді керування згідно з (15) визначається як:

$$u^*[k] = -\Psi^{-1}[k+1] \cdot (\Psi[k+1] \cdot \Phi_{\bar{Q}} + T_\theta^{-1} \cdot \Psi[k]), \quad (21)$$

що доставляє мінімум супровідному функціоналу:

$$J_2 = E \left\{ \sum_{k=k_j}^{k_{j+1}-n-1} (T_\theta^2 \cdot \Delta\Psi^2[k+1] + \Psi^2[k]) \right\}.$$

Отримане оптимальне керування (21) визначає собою завдання, що реалізується на ОК локальними САР із прогнозуючими моделями (8-10):

$$v_{opt}[k] = \Phi_{CAP} \{u_{opt}^{zad}[k_j, k_{j+1}-n-1], \hat{Y}_v[k+n_v]\}, \quad (22)$$

де  $v_{opt}[k] = \{B_\kappa[k], B_m[k], Q_\rho[k]\}$ ;  $u_{opt}^{zad}[k] = u[k]$ ;

$u[k] = u[k-1] + u^*[k]$ ;  $\hat{Y}_v[k+n_v] = \{\hat{\rho}_\kappa[k+n_\rho], \hat{\Delta}_m[k+n_\Delta], \hat{\theta}[k+n_\theta]\}$ .

Алгоритм роботи ієрархічної АОСАК процесу МСЗ складається з наступних етапів:

1) оцінка поточного стану ОК в моменти початку чергового циклу керування ( $k_j$ ) згідно із (17);

2) ідентифікація структури  $\Phi_{\bar{Q}}$  та параметрів  $a$  моделі ОК (11), наприклад, у вигляді НМ (18);

3) прогнозування вільного руху ОК за моделлю (11) (в розширеному вигляді (12-16)) на заданому інтервалі  $[k_j + n, k_{j+1} - 1]$  оптимізації керування;

4) обчислення цільової макрозмінної  $\Psi[k+1]$  для поточного стану ОК і формування сигналу оптимального керування згідно з (21).

5) реалізація на ОК регулюючих впливів (22) у відповідності з оптимальним керуванням (21) і прогнозуючими моделями каналів регулювання (8-10).

**Модельовання.** Оцінка ефективності АОСАК технологічним процесом МСЗ виконувалася шляхом імітаційного моделювання у середовищі Matlab за допомогою розроблених програм.

Як характеристика гранулометричного складу вхідної руди  $\gamma_p$  використовувався вміст класу +100 мм, а як характеристика фізико-механічних властивостей  $\zeta$  – її міцність, що моделювались генераторами збурювань із кореляційними функціями і статистичними характеристиками, визначеними за експериментальними послідовностями [10]. Як вихідна характеристика ОК приймалась продуктивність по класу -74μ ( $Q_{zom}$ ).

Моделювалось адаптивне керування за синергетичним принципом млином ММС та процесом МСЗ.

З особливостей ОК глибина прогнозу приймалась  $n=2$  цикли керування, а глибина пам'яті по різних входах – від 1 до 4. Діапазони значень вхідних і вихідних змінних нормувались в сигнали рівня 0...1.

Нестационарність ОК складала 20% від номінальних значень його параметрів за час спостереження у 256 циклів керування. Похибки виміру вхідних сигналів приймались на рівні 10% (гаусівська модель шуму із рівнем 0,1 від рівня сигналів).

Для прогнозування ОК використовувались моделі (Model) у вигляді каскадної НМ прямого поширення [8] із логістичною функцією активації прихованого шару і лінійною функцією у вихідному шарі.

Модель ММС наведена на рис. 2, а і складається з комбінації каналів керування (ПІТ<sub>Q</sub>) і збурювань (ПІТ<sub>γ</sub>) у вигляді аперіодичних ланок із запізнюванням, а також послідовно з'єднаною безінерційною квадратичною ланкою ( $\uparrow 2$ ) [1, 12].

Результати моделювання роботи ММС у керованому (ММСwC) і некерованому (ММСnC) режимах наведені на рис. 2, б.

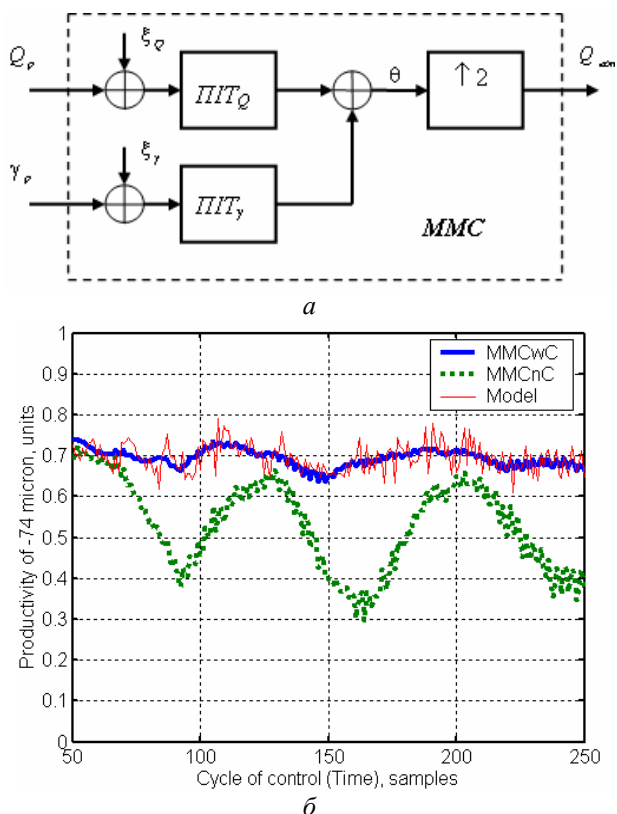


Рис. 2. Модель млина ММС (а) та результати керування ним (б)

Значення математичних очікувань і середньоквадратичних відхилень виходу  $Q_{gom}$  в некерованому режимі склали  $M_{MMCnC} = 0,549$  і  $\sigma_{MMCnC} = 0,109$ , а в керованому –  $M_{MMCwC} = 0,687$  і  $\sigma_{MMCwC} = 0,022$  при похибці прогнозуючої моделі 0,032. Таким чином, адаптивне керування млином ММС за синергетичним принципом дозволяє в 1,25 разу підвищити його

продуктивність по готовому класу та знизити її середньоквадратичне відхилення в 5 разів.

Модель верхнього рівня процесу МСЗ містить моделі каналів керування у вигляді: послідовно з'єднаних аперіодичної ланки із запізнюванням з безінерційною квадратичною ланкою (ПІТ2), відображення Ено у хаотичному режимі (ВЕХР) та аперіодичних ланок із запізнюванням (ПІТ). При цьому, для каналів керування по  $\theta$  і  $\Delta_m$  вплив збурювань ( $\gamma_p, \zeta$ ) враховується шляхом додавання в ці канали моделей впливу збурювань (у вигляді ПІТ), а по каналу  $\rho_k$  – шляхом введення залежності значень параметрів відображення Ено від поточних значень збурювань.

Результати моделювання роботи ієрархічної АОСАК процесом МСЗ у керованому (МСЗwC) і некерованому (МСЗnC) режимах наведені на рис. 3, а.

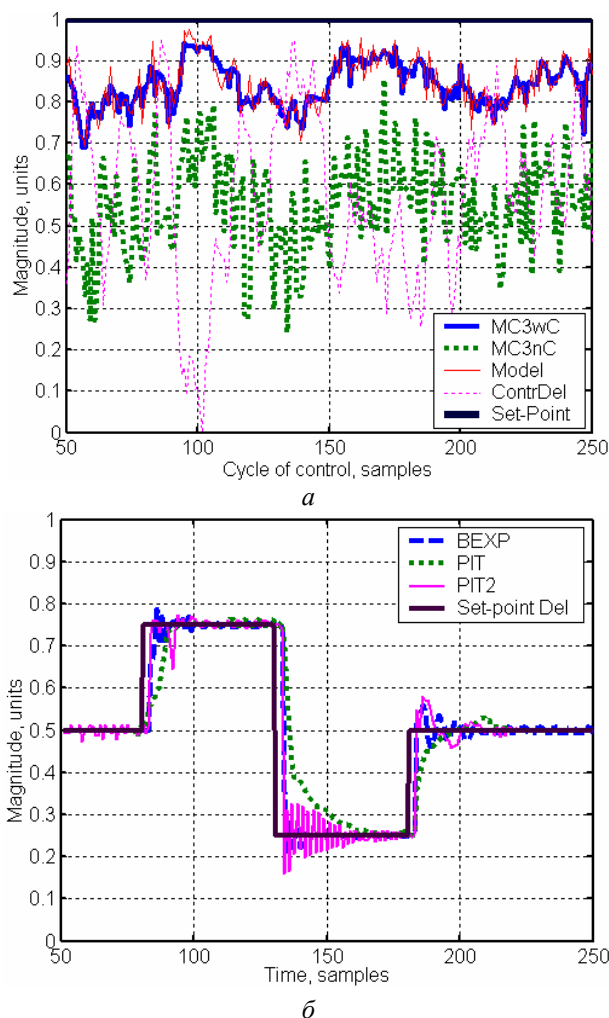


Рис. 3. Результати керування процесом МСЗ на верхньому (а) і нижньому (б) рівнях

Завдання на керування (Set-point) складало  $Q_{max} = 1$ .

Математичні очікування та середньоквадратичні відхилення виходу  $Q_{gom}$  в некерованому режимі

склали  $M_{MC3nC} = 0,568$  і  $\sigma_{MC3nC} = 0,117$ , а в керуваному –  $M_{MC3wC} = 0,825$  і  $\sigma_{MC3wC} = 0,057$  при похибці прогнозуючої моделі 0,034. Таким чином, АОСАК процесом МСЗ за синергетичним принципом дозволяє в 1,45 разу підвищити його продуктивність по готовому класу та знизити її середньоквадратичне відхилення в 2,1 разу.

Як моделі каналів регулювання ОК (нижній рівень АОСАК) використовувалися: моделі ПІТ (PIT), ПІТ2 (PIT2) та ВЕХР.

З особливостей каналів регулювання глибина прогнозу приймалась у 3 такти, а глибина пам'яті – 4. У якості завдання (Set-point Del) використовувалися отримані на верхньому рівні значення керування (на рис. 3, а для прикладу наведені значення каналу керування  $\Delta_m - \text{ContrDel}$ ).

Час спостереження складав 256 тактів, а нестаціонарність каналів регулювання ОК – 20% від номінальних значень їх параметрів за час спостереження.

Результати регулювання ОК за допомогою адаптивної САР із самоналагоджувальним регулятором і прогнозуючою моделлю [11] наведені на рис. 3, б. Значення похибок регулювання склали 0,03...0,04 для каналів ПІТ2 і ВЕХР та ~0,10 для ПІТ при похибках прогнозування ~0,02 і ~0,05 відповідно.

Статистична перевірка показала значущість отриманих результатів.

Час синтезу адаптивного оптимального керування при обчисленнях на процесорі Pentium IV складає ~0,12 с на один цикл при аналітико-чисельному пошуку (за виразом (21)) та ~0,86 с при використанні чисельних пошукових методів оптимізації. Тобто вигреш у часі при використанні запропонованих алгоритмів адаптивного синтезу оптимального керування складає більш, ніж у 7 разів.

Отримане підвищення якості керування процесом МСЗ дозволяє згідно з [2] підвищити продуктивність млинів першої стадії самоздрібнювання на 6...15% з одночасним зниженням (на ті ж відсотки) питомих витрат електроенергії у порівнянні з існуючими системами керування.

### Висновки

Розроблено ієрархічні адаптивні оптимальні САК, які забезпечують ефективне керування складними багатозв'язними ОК зі збурюваним середовищем функціонування шляхом синтезу керування за синергетичним принципом із залученням у реальному масштабі часу інформації про стан ОК до нового циклу керування і його майбутнього стану по інтелектуальній прогнозуючій моделі. Це забезпечує зближення стану ОК із бажаним режимом роботи і наступний рух в ньому з мінімізацією супровідного функціонала якості перехідних процесів на ковзкому циклі керування. При цьому забезпечується асимптотична стійкість системи без

пошуку рішень нелінійних динамічних рівнянь ОК. Визначене оптимальне керування являє собою завдання, що відпрацьовується на ОК локальними системами регулюванням.

Запропонована концепція автоматичного керування процесом МСЗ дозволяє за рахунок стабілізації й оптимізації робочих режимів технологічного встаткування збільшити продуктивність при одночасній зниженні енергоспоживання й підвищенні якості вихідного продукту й, тим самим, забезпечити суттєвий економічний ефект.

Подальші дослідження мають бути скеровані на розробку технічної реалізації адаптивних оптимальних САК процесами рудопідготовки.

### Список літератури

1. Марюта А.Н., Качан Ю.Г., Бунько В.А. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик. – М.: Недра, 1983. – 277 с.
2. Автоматизация процессов измельчения в обогащении и металлургии / Улитенко К.Я., Соколов И.В., Маркин Р.П. и др. // <http://www.scma.ru>. – 10 с.
3. Линч А.Дж. Циклы дробления и измельчения. Моделирование, оптимизация, проектирование и управление. – М.: Недра, 1981. – 343 с.
4. Воронов В.А. Многоуровневая оптимизация процессов обогащения. – М.: Недра, 1991. – 154 с.
5. Корнієнко В.І. Проблеми синтезу і реалізації оптимального керування технологічними процесами рудопідготовки // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – № 1. – С. 73-76.
6. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – Таганрог: ТРТУ, М.: Энергоиздат, 1994. – 344 с.
7. Современная прикладная теория управления: Синергетический подход в теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. – Ч. II. – 559 с.
8. Круглов В.В., Дли М.И., Голунов Р.Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. – М.: Солон, 1996. – 348 с.
9. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
10. Корнієнко В.І., Герасіна О.В. Методика ідентифікації нелінійних процесів рудопідготовки // Гірничая електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 82. – С. 77-85.
11. Видникевич Т.А., Корнієнко В.І. Интеллектуальная фильтрация и адаптивное регулирование процессов рудоподготовки // Гірничая електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 79. – С. 52-58.
12. Качан Ю.Г., Глухов В.В. Исследование системы стабилизации степени заполнения мельниц мокрого самоизмельчения // Механизация и автоматизация управления. – 1986. – № 2. – С. 63.

Рекомендовано до публікації д.т.н. В.В. Слесаревим 08.09.09

В.К. Богданов

## ТЕХНОГЕННИЙ ВПЛИВ НА МІКРОБНУ ФЛОРУ ПАЦІЄНТІВ ІЗ СИСТЕМНИМ ЗАХВОРЮВАННЯМ

Вивчення шкідливого впливу антропогенного забруднення є актуальним не лише для макроорганізму (людини), а й для мікроорганізмів, що призводить до дисбіотичних порушень. З метою вивчення якісних та кількісних змін у характеристиках мікробіоценозу шкіри та кишечника дослідили мікробіологічними методами 96 хворих на псоріаз. Динаміка мікробного обнасення у бік зменшення позитивно корелювала з покращенням дерматологічних характеристик обстежених.

Изучение вредного влияния антропогенно-загрязненной среды является актуальным не только для макроорганизма (человека), но и для микроорганизмов, что приводит к дисбиотическим нарушениям. С целью изучения качественных и количественных изменений в характеристиках микробиоценоза кожи и кишечника обследовали микробиологическими методами 96 больных псориазом. Динамика микробного обсеменения в сторону уменьшения положительно коррелировала с улучшением дерматологических характеристик обследованных.

The study of bad influence of the anthropologically polluted environment is relevant not only for macroorganism (human being), but for microorganisms. That results in disbiotical abnormalities. For the investigation purpose of qualitative and quantitative changes in skin and intestine microbiocenosis characteristics 96 patients with psoriasis were microbiologically observed. Microbic dissemination dynamics in decreased direction positively correlated with dermatological characteristics improvement of the observed patients.

Аналіз стану навколишнього середовища свідчить про те, що останніми роками суттєвих позитивних зрушень у покращенні екологічного стану країни не сталося, а подекуди він навіть погіршився. Одночасно в здоров'ї населення України в останні роки намітилася ціла низка негативних тенденцій, багато з яких значною мірою пов'язані з незадовільною екологічною ситуацією. Серед населення фіксується зниження показників клітинного та гуморального імунітету, зростання цитогенетичних афектів з підвищенням специфічних маркерів мікробної флори. Актуальним є забруднення середовища проживання і для мікроорганізмів, що призводить до збільшення кількості біологічних мутагенів.

Мікрофлора шкіри має важливе значення у підтримці гомеостазу організму [1, 2]. Кількість мікробів на шкірі залежить від багатьох умов: особливостей її гістологічної будови, температури поверхні, ступеня вологості, пото- і саловиділення, злущення епітелію [3-5].

За станом мікробіоценозу як здорової, так і патологічно зміненої шкіри можна судити про здоров'я макроорганізму, оскільки при хронічних дерматозах спостерігається якісна та кількісна зміна мікробних асоціацій на шкірі [6, 7]. Відомі лише поодинокі повідомлення про стан мікрофлори шкіри та кишечника у хворих на псоріаз [8, 9].

З метою вивчення можливих змін в якісних та кількісних характеристиках мікробіоценозу шкіри та кишечника ми дослідили 96 (38 жінок і 58 чоловіків) хворих на хронічний дерматоз – псоріаз: 46 у прогресуючій стадії, 28 – у стаціонарній, 22 – у регресуючій (у віці від 18 до 58 років). Саме несприятливі екологічні моменти ці пацієнти визнають провокуючим чинником до виникнення захворювання вперше та

наступних рецидивів. Контрольна група – 20 практично здорових (10 чоловіків та 10 жінок) тієї ж вікової категорії. Мікробний пейзаж шкіри визначали за методом Клемпарської Н.Н. (табл. 1).

У прогресуючій стадії псоріазу відмічено значне збільшення кількості неферментуючих манніт ( $p < 0,01$ ), негемолітичних стафілококів ( $p < 0,001$ ). На стаціонарній та регресуючій стадіях псоріазу – незначне розповсюдження мікроорганізмів на шкірі. В регресуючій стадії виявлено незначне збільшення кількості негемолітичних стафілококів ( $p < 0,05$ ) і значне зменшення неферментуючих манніт стафілококів ( $p < 0,01$ ) та ешерихій ( $p < 0,01$ ) і повна відсутність стафілококів, ферментуючих манніт.

Динаміка мікробного обнасення у сторону зменшення позитивно корелювала з покращенням стану шкірних покривів, залучених до патологічного процесу.

З метою виявлення кореляційних зв'язків між якісним та кількісним складом мікрофлори шкіри та кишечника залежно від екологічного стану навколишнього природного середовища проведені дослідження мікробіоценозу кишечника у хворих, які проживають в техногенно напруженому Придніпровському регіоні. Дисбіоз кишечника, що характеризується зменшенням вмісту облигатної мікрофлори та збільшенням кількості факультативних мікроорганізмів, виявлено у 68% хворих в прогресуючій стадії псоріазу, у 60% – в стаціонарній, у 48% – в регресуючій, у контрольній групі – 5%.

Виразні дисбіотичні зрушення відмічені у хворих в прогресуючій стадії псоріазу зі стійкою дисфункцією кишечника.

У хворих в стаціонарній стадії псоріазу констатовано прямий кореляційний зв'язок між

кількістю стафілококів у фекаліях та кількістю неферментуючих манніт стафілококів на шкірі. У

групі хворих в регресуючій стадії псоріазу, а також у контрольній групі кореляційних зв'язків не виявлено.

Таблиця 1

Мікробний пейзаж шкіри у хворих на псоріаз

Мікроорганізми	Стадії псоріазу			Контрольна група (здорові)
	Прогресуюча	Стаціонарна	Регресуюча	
<i>Кишкова паличка</i>	1,20 ± 0,06	1,18 ± 0,21	0,50 ± 0,02	1,08 ± 0,19
Стафілокок ферментуючий манніт	2,69 ± 0,07	1,85 ± 0,03	–	3,49 ± 0,55
Стафілокок неферментуючий манніт	7,51 ± 0,07	4,08 ± 0,16	1,81 ± 0,08	4,52 ± 0,83
Стафілокок гемолітичний	3,80 ± 0,20	3,79 ± 0,41	3,08 ± 0,02	3,24 ± 1,32
Стафілокок негемолітичний	6,61 ± 0,21	5,51 ± 0,17	3,91 ± 0,25	3,59 ± 0,63

Отже, гістоморфологічні зміни в епідермісі, спровоковані техногенно негативним станом середовища, сприяють підвищенню мікробного обнасення не лише шкіри, а й кишечника. Кількість мікроорганізмів у шкірі на прогресуючій стадії псоріазу вище норми спостерігається, оскільки гістоморфологічні зміни в епідермісі (паракератоз, акантоз) сприяють утворенню напівзакритих середовищ, з яких випаровується мінімальна кількість води, за наявності протеїнів та мінеральних речовин утворюються ідеальні умови для бактеріального росту. В стаціонарній стадії псоріазу мікробіоценоз шкіри мав тенденцію до нормалізації. В регресуючій стадії псоріазу обнасення мікробами значно нижче норми внаслідок незакінченої регенерації епідермісу, значних порушень секреції сальних залоз у поєднанні з бактеріостатичним ефектом мажевої кортикостероїдної терапії.

У той же час, можна констатувати, що між кількістю стафілококів на шкірі хворих на псоріаз та у кишечнику існують кореляційні зв'язки, однак виявлені вони не у всіх групах хворих. Кількісний аналіз мікроорганізмів на шкірі може бути використано як прогностичний тест для визначення неспецифічних факторів захисту на різних стадіях та при різному ступені розповсюдженості псоріазу.

Встановлена ж кореляційна взаємозалежність мікробіоценозу шкіри та кишечника у хворих на псоріаз обумовлює доцільність використання у комплексному лікуванні псоріазу еубіотиків, що дозволить ліквідувати дисбіотичні порушення у мікрофлорі кишечника та буде сприяти нормалізації мікробного пейзажу шкіри. Упередити великі дисбіотичні порушення шляхом корекції мікробіоценозу як здорової, так і патологічно зміненої шкіри можливо створенням оптимальних умов відновлення мікробних асоціацій на шкірі – створюючи екологічно безпечне середовище як для макроорганізму (*Homo sapiens*), так і для мікроорганізмів.

**Висновки**

Природний осередок дисемінації вказаного вище переліку мікроорганізмів у кишечнику та на шкірі людини, на якому існує певний мікробіоценоз, не має

такої чіткої обмеженості, як біотоп у макросвіті. Тому у процесі антропогенних змін у навколишньому середовищі можливе виникнення несподіваних епідеміологічних ситуацій та процесів внаслідок техногенного впливу як на макроорганізм (на організм людини), так і на мікроорганізми.

**Список літератури**

1. Микрофлора кожи человека – клинико-диагностическое значение [Мат. науч.-практ. конф., 25 февр., 1988]. – М.: Б.И., 1989. – 66 с.
2. Нобл У. Микробиология кожи человека / Перевод с английского. – М.: Медицина, 2006. – 493 с.
3. Аутофлора человека в норме и патологии и ее коррекция: Респуб. сборник науч. жур. / Горьковский НИИ эпидемиологии и микробиологии. Под ред. И.Н. Блохиной, К.Я. Соколовой. – Горький: ГГНИ, 1988. – 143 с.
4. Климнюк С.І. Мікробна екологія шкіри у здорових і хворих дітей // Інфекційні хвороби. – 2005. – № 2. – С. 25-30.
5. Синицін Б.Ф., Тацька Л.С., Немотинова Е.Б. Протимікробний захист в шкірі // IV з'їзд дерматовенерологів України. Тез. доп. (вересень 1992 р.), 1992. – С. 41.
6. Мусабаева С.Ж. Бактерицидные свойства кожи на фоне воздействия атмосферных фронтов // Вестник дерматологии и венерологии. – 1986. – № 5. – С. 37-38.
7. Шукюров Т.Ш., Керимова Д.Д. Влияние промышленных нефтей Апшерона на микрофлору кожи у рабочих нефтедобывающей промышленности // Вестник дерматологии и венерологии. – 1991. – № 9. – С. 25-28.
8. Знаменский В.А., Дегтяр Н.В., Кузьминский С.Н. и др. Микробиологическая диагностика дисбактериоза: Метод. рекомендации. – К.: 2006.
9. Нейчев С. Клиническая микробиология. – София: НРБ, 2007. – 325 с.

Рекомендовано до публікації д.б.н. А.І. Горовою 20.03.09



УДК 622.03:628.511:622.349.5

В.И. Ляшенко, Б.В. Карпенко, В.Н. Жушман

## ПРИРОДООХРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ХВОСТОХРАНИЛИЩ

Розглянуто результати теоретичних вишукувань, лабораторних, промислових експериментів, техніко-економічних обґрунтувань стосовно до хвостосховищ гідрометалургійних заводів з метою створення природоохоронних технологій керування їх станом на основі зв'язування хвостів вапном або хімічними речовинами (водорозчинними полімерами), або закріплення масивів хвостосховищ.

Рассмотрены результаты теоретических изысканий, лабораторных, промышленных экспериментов, технико-экономических обоснований применительно к хвостохранилищам гидрометаллургических заводов с целью создания природоохранных технологий управления их состоянием на основе связывания хвостов известью или химическими веществами (водорастворимыми полимерами), или закрепления массивов хвостохранилищ.

The Considered results of the theoretical prospecting, laboratory, industrial experiments, feasibility studies with reference to depositary refuse hydra-metallurgical plant for the reason creation nature safe technology and facilities for passion of the suppression of the dry beaches on base of the collecting tail in the general mass by lime, as well as fastening blazing depositary refuse.

**Актуальность проблемы.** Сохранение экосистем окружающей природной среды от влияния промышленных технологий является важной проблемой. Один из путей снижения техногенной нагрузки – управление состоянием природных ландшафтов в окрестностях хвостохранилищ. Разработка природоохранных технологий нуждается в оценке совокупности экологических, экономических и технологических факторов. Поэтому оптимизация системы «окружающая среда – отходы» позволяет радикально снизить техногенную нагрузку на экосистемы региона с достижением экологического и экономического эффектов за счет связывания хвостов в общей массе известью или водорастворимыми полимерами, или закрепления пылящих поверхностей действующего хвостохранилища, – вот те важные научные, практические и социальные задачи, требующие неотложного решения [1-5].

Нижче приведені додаткові свідчення про результати створення і впровадження природоохоронних технологій управління станом хвостохранилищ на основі обобщення і систематичного аналізу теоретических і аналітических досліджень, фізического моделювання процесів, лабораторного і експериментально-промислового експерименту, обробки даних з використанням методів математическої статистики, аналізу техніко-економіческих розрахунків еколого-економіческої ефективності. Природоохоронні технології управління станом хвостохранилищ, розроблені в рамках НІР «Дослідження і розробка способів пылеподавления при транспортуванні, складуванні, зберіганні корисних копалин і відходів добування і переробки на об'єктах уранової промисловості» (научний керівник теми В.І. Ляшенко, номер державної реєстрації 0102U003095) дозволяють радикально знизити шкоду навколишній середовищу і витрати на зберігання хвостохранилищ.

**Влияние отходов добычи и переработки минерального сырья на окружающую среду.** Одним из самых активных источников загрязнения окружающей среды на горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях являются хвостохранилища. В процессе намыва на действующих хвостохранилищах образуются обезвоженные участки площадью десятки и сотни гектаров, находящиеся в таком состоянии по несколько месяцев в году. В летние периоды поверхность нагревается до 60 °С и сухой слой достигает толщины 30-50 см. Сухие хвосты представляют собой рыхлопесчаный материал, между частицами которого нет устойчивых связей. При скорости ветра 5 м/с и более сухая поверхность хвостохранилища становится интенсивным источником выделения пыли. При этом концентрация ее в воздухе над хвостохранилищем и на удалении от него в несколько километров может в десятки и сотни раз превышать предельно-допустимые концентрации (ПДК).

Проблема снижения пылевыведения на действующих и реконструируемых хвостохранилищах пока находится в стадии исследования и поисков решения. Традиционный способ борьбы с пылью на сухих пляжах хвостохранилищ основан на закреплении пылящих поверхностей путем создания пленок или противэрозионных корок. При этом на поверхность хвостохранилищ наносят различные закрепители с помощью существующих машин: автогудронаторов, поливочных машин, сельскохозяйственных опрыскивателей и др. Приготовление эмульсий и водных растворов-закрепителей осуществляется в специальных аппаратах-диспергаторах или мешалках. Опыты в промышленных условиях показали, что в технологию закрепления поверхностей кроме вышеуказанных операций должна входить подготовка поверхности. Это характерно для закрепления пылящих поверхностей действующих хвостохранилищ наливного типа, где более легкие фракции (иловая и глинистая) кон-

центрируются в верхнем слое пляжей. Исследования показали, что в верхнем (10-20 мм) слое сконцентрировано до 90% частиц этих фракций. Коэффициент фильтрации верхнего слоя составляет в среднем всего 0,02-0,03 м/сутки, поэтому проникновение закрепляющих растворов вглубь хвостов не происходит и, следовательно, не образуется водонерастворимая корка. На поверхности после высыхания закрепителя образуется тонкая пленка, которая легко разрушается и смывается дождевой водой. Кроме того, из-за имеющихся неровностей поверхности и глубоких трещин большая часть закрепляющего раствора уходит по трещинам или собирается в сформированных углублениях. При этом заезд транспорта и пребывание людей на хвостохранилище запрещены ввиду возможных просадок и провалов, особенно на хвостохранилищах наливного типа. Противоэрозионная пленка является плоскостью скольжения, что при эксплуатации может привести к разрушению дамб.

Анализ показал, что устранение указанных недостатков возможно путем ввода закрепителя в магистральный пульпопровод и намыв пляжей из хвостов в смеси с закрепителем. Преимуществом предлагаемого способа является то, что нет необходимости применения машин и механизмов для подготовки поверхности и нанесения закрепителей. В качестве связующих добавок для хвостов гидрометаллургического завода (ГМЗ) были испытаны водорастворимые структурообразующие полимеры К-9, полиакриламид (ПАА) и известь. Линейные полимеры серии «К» получают как продукт взаимодействия ПАА со щелочным реагентом, в качестве которого применяют либо 4%-й раствор едкого натра, либо 25%-й раствор жидкого стекла. Для приготовления полимера К-9

используются отходы производства синтетического волокна «нитрон». Товарный продукт представляет собой вязкую жидкость, содержащую 10% основного соединения, хорошо растворимую в воде. ПАА получают полимеризацией акриламида по радикальному механизму в присутствии обычных инициаторов, в водном растворе (8-10%-м) и участием окислительно-восстановительных систем. Полимер выделяют из водного раствора выпариванием при низкой температуре. Товарный ПАА выпускается в виде 8%-го раствора, представляющего прозрачную очень вязкую жидкость с красноватым оттенком или в виде белого гранулированного порошка 50% концентрации.

Молекулы полимеров серии «К» и ПАА при введении в дисперсную среду имеют нитевидную форму. В низких концентрациях эти полимеры при высыхании обработанного материала имеют разветвленные нити, а в более высоких концентрациях – сетчатую структуру. Это объясняет способность полимеров удерживать вместе мелкодисперсные частицы благодаря механическому обхвату их нитями.

**Методика исследований закрепления пылящих поверхностей.** Количество пыли, сдуваемой с хвостохранилищ, устанавливалось по величине удельной сдуваемости с помощью аэродинамической трубы (рис. 1). Принцип работы установки заключается в подаче воздуха по трубе с определенной скоростью и улавливании пыли воздуходувкой на фильтрах, установленных в аллонжах разных диаметров. Для получения достоверных результатов замеров параметров пылеобразования пульпы, находящейся в кювете, скорость улавливания пыли и движения воздуха в трубе поддерживается одинаковой (эффект изокинетичности).

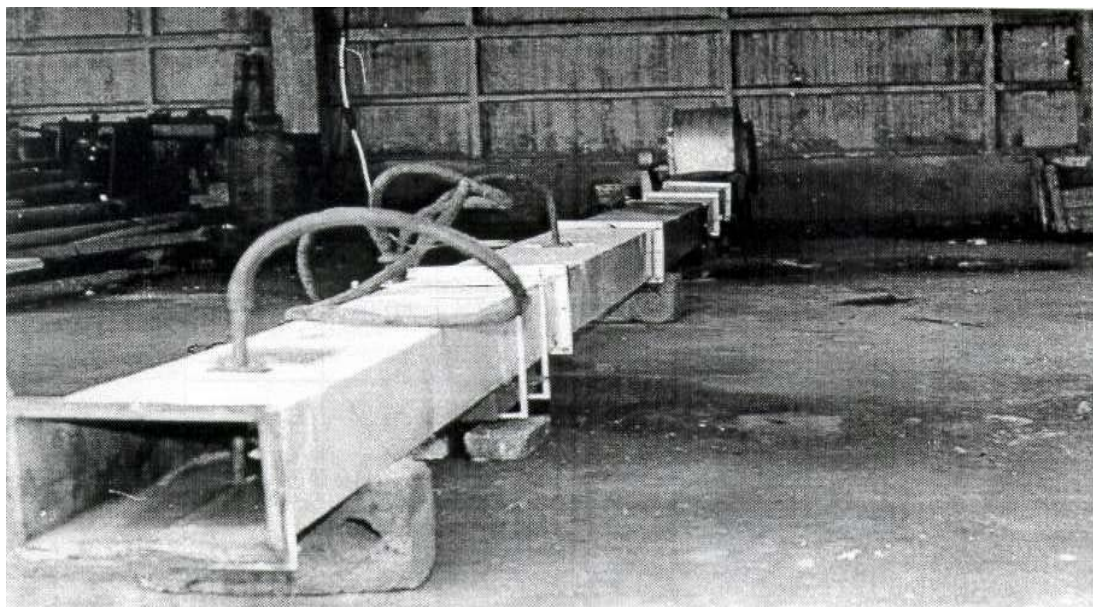


Рис. 1. Аэродинамическая труба (общий вид)

Использование аэродинамической трубы нагнетательного типа позволило приблизить искусственный поток к естественному, что подтверждено результа-

тами замеров потерь напора по длине трубы при скорости воздушного потока 15 м/с. Для выравнивания профиля относительных скоростей на расстоянии 4Р

( $P$  – периметр короба по сечению) от вентилятора устанавливался спрямляющий аппарат сотового типа. Кроме того, для получения установившейся дефляции и развитого кинематического поля турбулентного потока предшествующая длина разгона воздушного потока составляла  $12P$ . Поперечное сечение короба ( $0,3 \times 0,2$  м), в соответствии с критерием моделирования является автомодельным. Профили скоростей ветра вблизи земной поверхности и потока в трубе определяются по формуле

$$V = \frac{V_g}{f} \ln \frac{Z}{Z_0}, \text{ м/с}, \quad (1)$$

где  $V_g$  – динамическая скорость, м/с;  $Z$  – высота, на которой определяется скорость, м;  $Z_0$  – шероховатость подстилающей поверхности, м;  $f$  – постоянная Кармана.

Динамическая скорость в трубе равна

$$V_g = \frac{V_z \cdot f}{\ln \frac{Z_r}{Z_o}}, \text{ м/с}, \quad (2)$$

где  $V_z$  – скорость потока по оси трубы, м/с;  $Z_r$  – половина высоты трубы, м.

Скорость воздуха в аэродинамической трубе измеряли воздухомерной трубкой, подключенной к микроанометру ММК-200, который имеет цену деления  $0,01$  мм вод. ст. ( $0,1$  Па). Измерение скорости воздуха дублировали чашечным анемометром У5 №26858(табл. 1).

Пробы атмосферного воздуха на запыленность отбирались с использованием фильтров АФА-ВП-20-1 в двух разных точках по высоте трубы и усреднялись. Удельная сдуваемость  $q$ , характеризующая пылящую способность поверхности, равна:

$$q = \frac{C_p \cdot V \cdot S}{S_p}, \text{ мг/м}^2 \cdot \text{с}, \quad (3)$$

где  $C_p$  – запыленность воздушного потока, мг/м<sup>3</sup>;  $V$  – скорость воздушного потока в аэродинамической трубе, м/с;  $S$  – сечение рабочей секции аэродинамической трубы, м<sup>2</sup>;  $S_p$  – площадь исследуемой поверхности, м<sup>2</sup>.

Таблица 1

Скорости воздушного потока (ветра) на различных высотах по оси трубы

Высота, на которой измеряется скорость ветра, см	Скорость воздушного потока по оси трубы, м/с								
	3	5	7	9	11	13	15	17	20
1,0	3,8	6,4	8,9	11,5	14,0	16,6	19,1	21,0	25,5
1,5	4,0	6,7	9,4	12,0	14,7	17,4	20,1	22,8	26,7
2,0	4,2	6,9	9,7	12,4	15,2	18,0	20,7	23,5	27,6
9,0	4,9	8,1	11,3	14,6	17,8	21,0	24,3	27,5	32,2
12,0	5,0	8,3	11,6	15,0	18,3	21,6	25,0	28,3	33,3

Запыленность воздушного потока

$$C_p = C_{en} - C_g, \text{ мг/м}^3, \quad (4)$$

где  $C_{en}$ ,  $C_g$  – соответственно запыленность воздушного потока до и после сдувания пыли с исследуемой поверхности и поступающего в аэродинамическую трубу, мг/м<sup>3</sup>.

Для получения сопоставимых результатов объем исследуемого воздуха приводился к нормальным условиям по формуле

$$V_o = 0,359 \frac{P \cdot V_t}{273 + t}, \text{ л}, \quad (5)$$

где  $V_o$ ,  $V_t$  – соответственно объем воздуха, приведенный к нормальным условиям, при температуре  $t$  и давлении  $P$  в месте отбора пробы, л;  $t$  – температура воздуха в месте отбора проб, °С;  $P$  – атмосферное давление, мм рт. ст.

Навеска пыли на фильтре не превышала 30-40 мг, чтобы не допускать коагуляции частиц.

**Исследование образцов хвостов ГМЗ, закрепленных полимерами и известью.** Наиболее важным показателем, гарантирующим подверженность ветровой эрозии, является механическая прочность закрепленных хвостов, характеризующаяся пределом прочности на сжатие. Путем продувки образцов хвостов, закрепленных различными вяжущими материалами (в том числе полимерами и известью), в аэродинамической трубе при скорости воздушного потока  $15$  м/с было установлено, что сдувание пыли прекращается при достижении прочности закрепленного материала на сжатие  $(1-1,5) \cdot 10^5$  Па, т.е. поверхности заскладированных хвостов, гарантируют определенную ветроэрозионную стойкость пляжей хвостохранилища. Исходя из этого, результаты лабораторных работ по закреплению хвостов ГМЗ считались удовлетворительными при приобретении прочности исследуемых образцов, в 3-5 раз превышающих прочность незакрепленных образцов хвостов ГМЗ  $(0,25-0,27) \cdot 10^5$  Па.

Прочность образцов, закрепленных полимерами, зависит прежде всего от их концентрации в пульпе. Для определения оптимальной концентрации полимеров в воде при различных Т:Ж проведены исследо-

Таблиця 2

Прочность образцов хвостов ГМЗ на сжатие

Т:Ж	Концентрация полимера в воде, %	Прочность образцов, 10 Па	
		К-9	ПАА
1:1	0,00	0,27	0,27
	0,01	0,40	0,40
	0,02	0,54	0,55
	0,03	0,74	0,71
	0,04	0,92	0,95
	0,05	1,10	1,14
	0,06	1,45	1,35
1:2	0,00	0,27	0,27
	0,01	0,48	0,43
	0,02	0,72	0,60
	0,03	0,94	0,78
	0,04	1,20	1,00
	0,05	1,44	1,20
	0,06	1,57	1,38
1:3	0,00	0,27	0,27
	0,01	0,70	0,60
	0,02	0,96	0,85
	0,02	1,21	1,00
	0,04	1,43	1,25
	0,05	1,64	1,45
	0,06	1,73	1,63

вания, подтверждающие, что крепость образцов возрастает при увеличении концентрации полимеров в жидкой фазе пульпы (воде) (табл. 2). Требованиям технологии транспортирования и складирования хвостов (минимум стоимости работ по закреплению), удовлетворяют образцы, закрепленные полимером концентрацией 0,05% в воде).

Область оптимальных значений времени перемешивания полимера в транспортируемой пульпе приведена в табл. 3. Наибольшая прочность хвостов, укрепленных полимерами, достигается при продолжительности перемешивания пульпы во время транспортирования в пределах 25-35 мин. Точка ввода полимера в пульпопровод определяется из зависимости  $L = (25-35) V$ , где  $V$  – скорость движения пульпы в пульпопроводе, м/мин.

При эксплуатации хвостохранилищ складированные хвосты используются как строительный материал при возведении дамб, плотин. Важными показателями, определяющими устойчивость плотин, намывных из хвостов, являются угол внутреннего трения и сцепления. При определении этих показателей фиксировались влажность и плотность исследуемого материала (табл. 4). Добавки полимеров в состав хвостов существенного влияния на плотность укладки и сдвиговые характеристики намывных отложений не оказывают. Исследуемые полимеры способны изменять параметры укладки хвостов в хвостохранилище, в частности, угол намыва пляжа, который возрастает с увеличением содержания полимера в пульпе (табл. 5).

Таблиця 3

Прочность образцов хвостов ГМЗ в зависимости от продолжительности перемешивания полимеров в пульпе

Закрепитель		Прочность образцов $10^5$ Па при различном времени перемешивания (мин)								
Название	Концентрация, %	5	15	25	30	35	45	60	120	180
Без закреп.	-	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
ПАА	0,03	0,62	0,82	0,90	0,92	0,90	0,85	0,78	0,63	0,43
	0,05	1,1	1,28	1,44	1,47	1,45	1,41	0,38	1,26	1,19
Полимер К-9	0,03	0,76	0,92	1,02	1,04	1,02	0,96	0,89	0,74	0,63
	0,05	1,32	1,47	1,6	1,63	1,61	1,55	1,48	1,32	1,26

Таблиця 4

Физико-механические свойства хвостов в смеси с полимерами

Закрепитель	Показатели				
	Содержание, %	Влажность, %	Плотность, $кг/м^3$	Коэффициент внутреннего трения, доли ед.	Сцепление $10^5$ Па
Полиакриламид	0,03	46	1690	0,054	0,12
	0,05	50	1650	0,030	0,00
К-9	0,03	45	1700	0,575	0,00
	0,05	51	1670	0,600	0,05
Контроль (хвосты без закрепителя)	0,00	44	1680	0,505	0,14

Таблиця 5

Параметры намыва пляжа смесью хвостов с полимерами

Закрепитель	Содержание, %	Угол намыва пляжа, град
Полиакриламид	0,03	3,5
	0,05	5,0
Полимер К-9	0,03	3,0
	0,05	4,5
Без закрепителя	-	1,0

Следовательно, подача на пляж намыва пульпы с полимерами приведет к более интенсивному выпадению крупной фракции (агрегированные частицы) в зоне упорных призм плотины и ограждающих дамб, более крутым уклонам поверхности намываемого пляжа, сокращению выноса мелких фракций в зону подводного откоса пляжа и пруда-отстойника, что в

конечном итоге даст возможность сокращению площадей сухих пляжей. Наличие в технологическом процессе ГМЗ извести определило выбор этого вяжущего в качестве закрепителя пылящих поверхностей хвостохранилищ при проведении опытно-промышленного эксперимента, который подтвердил возможность ее использования в качестве закрепителя при содержании извести от 2 до 10% от массы твердого и соотношении Т:Ж = 1:3 ( табл. 6).

Таблица 6  
Результаты лабораторных исследований хвостов ГМЗ в смеси с известью

Со-дер-жа-ние из-вести в хво-стах, %	Наименование показателей					
	Пре-дел проч-ности на сжа-тие, 10 <sup>5</sup> х Па	Кэф-фици-ент защи-ты, ед.	Кэф-фици-ент внут-рен-него тре-ния	Сце-пле-ние, 10 <sup>5</sup> х Па	Во-дос-той-кость	рН сме-си
0,0 (кон-троль)	0,26	1,0	0,50	0,014	0,01	7,8
2,0	0,68	2,75	0,51	0,016	0,6	11,1
4,0	1,25	5,0	0,52	0,016	1,43	12,2
6,0	3,84	15,36	0,53	0,017	2,4	12,3
8,0	3,96	15,84	0,55	0,018	За 24 ч без раз-ру-ше-ний	12,6
10,0	4,05	16,20	0,55	0,018	То же	12,8

Прочность образцов интенсивно возрастает с увеличением содержания извести в хвостах до 6% и достигает 3,84 × 10<sup>5</sup> Па, что достаточно для прекращения ветровой эрозии. В дальнейшем прочность практически не зависит от содержания извести. Сдвиговые испытания показали, что добавки извести несколько улучшают эти показатели. Добавки извести приводят к некоторому сокращению полезного объема хвостохранилищ. Поэтому, учитывая необходимость полу-

чения прочности складываемых хвостов, обеспечивающей их устойчивость от ветровой эрозии, оптимальное количество извести определено в пределах 4-5% от массы твердого.

Полученные результаты лабораторных работ по исследованию возможности закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ с помощью водорастворимых полимеров К-9, полиакриламида и извести показали, что они могут быть рекомендованы для их исследования в промышленных условиях на опытном полигоне. К одному из выпусков магистрального пульпопровода была приварена труба диаметром 100 мм, в котором были устроены 16 выпускных патрубков диаметром 75 мм (по 8 выпусков с каждой стороны). Расстояние между выпусками составило 750 мм. К выпуску магистрального пульпопровода была приварена труба, соединяющая его с емкостью объемом 6 м<sup>3</sup>, в которой находился водный раствор ПАА марки ПАА-ГС 2% концентрации, который готовился на ГМЗ и к месту работы доставлялся в автостанции.

Предварительно на пляже опытного участка в 3 осях установлены 4 мерные рейки, с помощью которых осуществлялся контроль за высотой намываемого слоя и геометрии намыва пляжа. Расход полимера, необходимый для создания 0,09% концентрации его в жидкой фазе пульпы, определялся по формуле:

$$G = \frac{Q}{T + Ж} \cdot Ж \cdot \frac{C}{C_0}, \text{ л/с}, \quad (7)$$

где G – расход полимера, л/с; Q – расход пульпы, л/с; C – требуемая концентрация полимера в пульпе, %; C<sub>0</sub> – исходная концентрация полимера, %; T, Ж, – соответственно твердая и жидкая составляющие пульпы, ед.

За 3,5 часа проведения эксперимента на опытном участке намыто около 320 м<sup>3</sup> пульпы в смеси 6 м<sup>3</sup> ПАА. Полимеризованная пульпа покрыла опытный участок по всему фронту намыва (15 м) и к центру хвостохранилища до пруда-отстойника. По окончании опытного намыва и стабилизации отложенный по истечении 5 суток была произведена нивелирная съемка поверхности пляжа и отбор проб намываемого материала и определены его физико-механические свойства в (табл. 7).

Таблица 7

Результаты испытаний хвостов ГМЗ отобранных на опытном участке

Закрепитель	Концентрация, %	Прочность, 10 <sup>5</sup> Па	Влажность, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Сцепление, 10 <sup>5</sup> Па
Хвосты без за-крепителя	0,00	0,27	30,62	2130	0,065
ПАА	0,05	1,17	29,30	2010	0,070

Прочность образцов, полученных в результате опытно-промышленного эксперимента ниже, чем в лабораторных условиях, но вполне достаточно для

исключения пыления сухих пляжей при средних скоростях ветра. Значения других физико-механических показателей не отличаются от лабораторных, что

подтверждает возможность применения ПАА как средства, снижающего интенсивность пыления сухих пляжей хвостохранилищ.

Опытно-промышленный эксперимент по закреплению хвостов известью проводился на действующем хвостохранилище. Для этого в магистральный пульпопровод были вварены трубы диаметром 100 мм через 10 м, каждая труба оборудована индивидуальной задвижкой, позволяющей регулировать и

перекрывать поток пульпы. Ввод извести в пульпу в количестве 5% от массы твердого осуществлялся непосредственно на ГМЗ в пункте нейтрализации хвостов. Контроль за количеством извести в пульпе осуществлялся поддержанием необходимой концентрации в смеси, исходя из того, что значение рН, равное 12, соответствовало расходу 50 кг извести на 1000 кг нейтральных хвостов. Контроль за величиной рН проводился как на заводе, так и на выпусках (табл. 8).

Таблица 8

Значение рН в пункте нейтрализации хвостов (на ГМЗ) и на выпуске на пляж

Место отбора	Время отбора проб										
	8 <sup>00</sup>	9 <sup>00</sup>	10 <sup>00</sup>	10 <sup>30</sup>	11 <sup>00</sup>	11 <sup>30</sup>	12 <sup>00</sup>	12 <sup>30</sup>	13 <sup>00</sup>	13 <sup>30</sup>	13 <sup>45</sup>
На ГМЗ	8,2	11,5	11,8	11,7	12,0	11,8	12,0	11,7	7,9	7,8	7,6
На выпуске	—	—	8,18	8,62	9,36	10,09	9,88	9,166	10,92	10,89	10,95

Намыв опытного пляжа продолжался три часа. При этом израсходовано 60 т извести и уложено 1200 т хвостов. Пульпа с известью покрыла и опытный участок с мощностью покрывающего слоя хвостов с известью от 2 до 25 см. По окончании опытного намыва и стабилизации отложений в течение 6 суток отобраны пробы образцов хвостов в смеси с известью и определены их физико-механические свойства (табл. 9).

Таблица 9

Физико-механические свойства хвостов с известью

Исследуемый образец на основе хвостов ГМЗ	Предел прочности на сжатие, 10 <sup>5</sup> Па	Коэффициент внутреннего трения, доли ед.	Сцепление, Па
Без извести	0,27	0,52	0,13
С известью в момент сброса	3,83	0,53	0,17
С известью после стабилизации пляжа	1,76	0,53	0,17

Результаты исследований показывают, что предел прочности образцов с добавкой извести, отобранных в момент сброса в 2 раза выше, чем образцов, отобранных после стабилизации поверхности. Меньшая прочность образцов, отобранных на пляже намыва, объясняется тем, что часть извести вместе с водой переместилась в пруд-отстойник, а часть нейтрализована хвостами, намытыми в основание опытного участка. Наблюдения за опытным участком в течение осенне-зимнего периода показали, что при плюсовой температуре хвосты с 5%-й добавкой извести не пылят, а при минусовой температуре вымораживание влаги нарушает структуру связей извести

и скелета хвостов, что приводит к пылению как извести, так и хвостов.

**Методика численного моделирования.** Хвостохранилища представляют собой техногенное месторождение минерального сырья с низким содержанием полезных компонентов и высоким содержанием вредных примесей, эксплуатация которого эффективна при условии

$$Z_{II} < Z_K + Z_3, \text{ ден. ед.}, \quad (8)$$

где  $Z_{II}$ ,  $Z_K$ ,  $Z_3$  – соответственно, затраты на переработку хвостов, консервацию хвостохранилищ и восстановление качества окружающей среды.

Хранение хвостов безопасно, если техногенное возмущение экосистемы не превышает уровня, при котором биота сохраняет свою способность к самовосстановлению после снятия техногенной нагрузки при условии:

$$V_{OC} < \sum_{i=1}^n ПЖС, \text{ ден. ед.}, \quad (9)$$

где  $V_{OC}$  – комплексный ущерб экосистемам от хвостохранилища;  $ПЖС$  – интегральный предел жизнеспособности биоты.

До техногенного воздействия хвостохранилища на окружающую среду экосистема характеризуется величиной  $\mathcal{E}_n$  (природная) и  $\mathcal{E}_T$  (техногенная). Величина деградации экосистемы вследствие влияния хвостов ( $V_3$ ) определяется по выражению:

$$V_3 = (\mathcal{E}_n - \mathcal{E}_T) \cdot K_p, \text{ ден. ед.} \quad (10)$$

Эффективность управления массивами хвостохранилищ и состоянием окружающей среды определяется решением моделей:

$$\mathcal{E} = \sum_{p=1}^P \sum_{o=1}^O \sum_{n=1}^N \sum_{t=1}^T \sum_{f=1}^F \sum_{n=1}^N \{ (M_{cy} C_{my} + Q_y C_{qy}) \} - \sum_{z=1}^3 [K(1 + E_{ny}) + E_q + E_x] - [(M_e C_m + Q C_q) + Q_r C_r] K_c K_y K_T K_\theta K_r K_{ep} K_\chi \rightarrow \max, \text{ ден. ед.}, \quad (11)$$

где  $P$  – продукты утилизации хвостов;  $O$  – виды хвостов;  $\Pi$  – процессы переработки хвостов;  $T$  – время переработки;  $F$  – фазы существования хранилищ;  $N$  – стадия использования хвостов;  $M_{cy}$  – количество металлов из отходов;  $Ц_{my}$  – цена металлов;  $Q_y$  – количество восстановленных эффектов;  $Ц_{qy}$  – цена утилизированных веществ;  $E_q, E_x$  – соответственно коэффициенты процентной ставки на кредит для утилизации и производства металлов;  $E_{ny}$  – коэффициент процентной ставки на экологию;  $M_e, Ц_m$  – соответственно, количество и цена потерянных металлов;  $Q$  – количество потерянных эффектов;  $Ц_q$  – цена потерянных полезных веществ;  $Q_r$  – количество эффектов поражения среды;  $Ц_r$  – затраты на компенсацию гло-

бальных факторов поражения;  $Z$  – затраты на управление;  $K$  – затраты на управление хранилищами;  $K_c, K_y, K_m, K_{\bar{\sigma}}, K_r, K_{op}, K_{\bar{c}}$  – соответственно коэффициенты самоорганизации хвостов, утечки продуктов выщелачивания, дальности утечки растворов, влияния на биосферу, влияния загрязнения на соседние регионы, реализации опасности со временем, риска поражения окружающей среды от неучтенных факторов.

Активированные в процессах переработки хвосты подвергаются природному выщелачиванию, продукты которого определяют стабильность экосистем окружающей среды. Прочность закрепления массива альтернативными способами весьма различается (табл. 10).

Таблица 10

Прочность закрепления в возрасте 28 дней

Технология закрепления массива	Прочность, МПа		
	минимум	максимум	средняя
Глинизация	0,05	2,2	1,1
Цементизация	0,22	6,6	1,7
Силикатизация	0,10	10	3,2
Битумизация	0,10	2,0	1,2
Комбинированная с добавкой ПВА	0,10	3,3	1,4
Закрепление травами	закрепление травами		
Карбонатизация	0,3	1,50	0,80
Химическое закрепление	0,3	0,46	0,67

Таблица 11

Классификация способов управления хвостохранилищами

Технология упрочнения	Вариант	Достоинства	Недостатки
1. Верхнего слоя	глинизация	малые затраты, наличие материалов	малая прочность
	цементация	высокая прочность	высокие затраты
	силикатизация	высокая прочность	сложность
	карбонатизация	простота, надежность, утилизация карбонатов	сложная расконсервация
	биоукрепление	простота и доступность	в комбинации
2. Всего массива	кольматация без извлечения металлов	простота, надежность, утилизация продуктов электрохимии, экологичность	загрязнение металлами и солями
	с извлечением металлов	простота, окупаемость, экологичность	не используется возможность утилизации с получением товара

В предлагаемой классификации (табл. 11) авторами систематизированы технологии управления состоянием хвостохранилищ. Она отличается от ранее известных тем, что в качестве основного критерия принят показатель выноса реагентов в природу.

Технологии с закреплением хвостов выщелачивания продуктами вторичной минерализации в течение 30 лет внедрены при разработке уранового месторождения «Бык» (Северный Кавказ) способом подземного шахтного выщелачивания. В качестве реагента применяли 3%-й водный раствор серной кислоты, при этом хвосты выщелачивания приобретали прочность 0,5-1,0 МПа [6].

### Выводы

Установлено, что сдувание пыли прекращается при достижении прочности закрепленного материала на сжатие  $(1,0-5) \cdot 10^5$  МПа и скорости воздушного потока 15 м/с. Технология транспортирования и складирования хвостов эффективна (минимум стоимости работ по укреплению) при укреплении их полимерами концентрацией 0,05% в воде и продолжительности перемешивания в пределах 25-35 мин.

В качестве закрепителей, вводимых в пульпу, рекомендованы водорастворимые полимеры: ПАА и К-9 с концентрацией в жидкой фазе 0,05%, а также известь, добавляемая в пульпу в количестве 4-6% от массы твердого.



Оценено влияние отходов добычи и переработки минерального сырья на окружающую среду природно-промышленных ландшафтов с учетом миграции вредных ингредиентов из хвостохранилищ. Радикальная защита экосистем окружающей среды обеспечивается при управляемом выщелачивании ингредиентов из отходов минерального сырья и закреплением массивов хвостохранилищ (глинизация, цементизация, силикатизация, битумизация, комбинированная с добавками ПВА, химическое закрепление и закрепление травами).

### Список литературы

1. Борисов В.Г., Кретинин А.В., Жушман В.Н. Результаты исследования по созданию непьющих поверхностей действующих хвостохранилищ ГМЗ. // Специальные вопросы атомной науки и техники. Серия: Геология и горное дело. – М., 1987. – В. 1. – С. 36-41.
2. Кретинин А.В., Борисов В.Г., Жушман В.Н. Способ борьбы с пылью на действующих хвостохрани-

лищах // Цв. металлургия. – 1988. – № 12. – С. 56-88.

3. Ляшенко В.И. Охрана окружающей среды и защита населения в уранодобывающих регионах // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2005. – № 4. – С. 82-92.
4. Ляшенко В.И., Голик В.И. Природоохранные и ресурсосберегающие технологии подземной разработки урановых месторождений // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2007. – № 1. – С. 53-67.
5. Ляшенко В.И., Сатцев А.М., Федорова С.А. Повышение качества природно техногенной среды в зоне горно-металлургического производства // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2008. – № 5. – С. 34-40.
6. Ляшенко В.И., Голик В.И., Козырев Е.Н. Комбинированные технологии добычи полезных ископаемых с подземным выщелачиванием // Горный журнал. – 2008. – № 12. – С. 37-40.

*Рекомендовано до публікації д.б.н. А.І. Дворецьким 09.09.09*

УДК 661.645

О.В. Мазницька

## ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА, ЩО МІСТЯТЬ АРСЕН

Запропоновано метод утилізації промислових відходів, що містять арсен, з одержанням речовин менш небезпечних. Такі речовини можуть бути поховані у котлованах, вимоги до яких не нормуються. Для введення та дозування сульфідуючих реагентів запропоновано пристрій, конструкція якого дозволяє: робити процес безпечним, встановлювати і підтримувати оптимальний режим дозування сульфідної сірки, виключаючи передозування реагенту.

Предложен метод утилизации мышьяксодержащих промышленных отходов с получением веществ менее опасных. Такие вещества могут быть захоронены в котлованах, требования к которым не нормируются. Для введения и дозирования сульфидирующих реагентов предложено устройство, конструкция которого позволяет: делать процесс безопасным, устанавливать и поддерживать оптимальный режим дозирования сульфидной серы, исключая передозировку реагента.

The method of utilization of industrial wastes containing arsenic is offered, with the receipt of matters of less dangerous. Such matters can be buried in foundation pits, the requirements to which are not rationed. For introduction and dosage of sulfide reagents the device construction of which allows is offered: to do a process safe, to set and support the optimum mode of dosage of -agent, eliminating the overdose of reagent.

**Постановка проблеми.** Вирішення проблем утилізації небезпечних відходів виробництва, кількість утворення яких, не зважаючи на зменшення обсягів виробництва в Україні, має тенденцію до збільшення, є важливою ланкою в системі заходів щодо покращення екологічного стану держави. В Україні щорічно надходить у довілля від 60 до 100 млн. т шкідливих речовин, у сховищах організованого складування зберігається майже 3 млрд. т токсичних відходів, що у розрахунку на 1 км<sup>2</sup> території країни становить 4,7 тис. т. Цей показник в Україні переви-

щує відповідний у розвинутих державах у декілька разів [1].

Незважаючи на розвиток технологій переробки та утилізації небезпечних відходів, поховання їх на звалищах все ще вважається найбільш економічно доцільним методом поводження з ними.

До речовин, які мають високу токсичність і становлять небезпеку для довкілля, належать сполуки арсену.

Напівпровідникова техніка є однією з перспективних галузей застосування арсену. Він використову-

ється як легуюча добавка, яка додає "класичним" напівпровідникам (Si, Ge) провідність певного типу. Як цінну присадку арсен використовують і в кольоровій металургії (добавка до свинцю  $\approx 1\%$  арсену значно підвищує його твердість). Добавка до міді 0,15-0,45% арсену збільшує її міцність на розрив, твердість і корозійну стійкість. При цьому збільшується текучість міді при литті, полегшується процес волочіння дроту. Складна промисловість традиційно використовує арсен як складову в рецептурах багатьох видів скла, наприклад, «віденського». В усіх перерахованих виробництвах арсен концентрується в технологічних розчинах – стічних водах газоочисних установок, відпрацьованих електролітах, травильних розчинах і т.д. У всіх цих розчинах він знаходиться в активній формі й тому, перед зливом, стоки необхідно очищати від арсену [2].

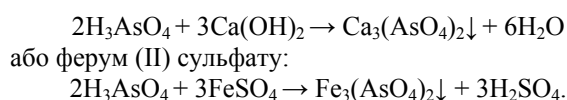
Для знешкодження рідких відходів, що містять сполуки As (III), застосовують електрохімічне очищення, яке базується на катодному відновленні арсену. Цей спосіб дозволяє одержувати металевий арсен, який потім можна рекуперувати. Проте електрохімічне очищення супроводжується такими негативними явищами, як концентраційна поляризація (призводить до зниження ефективності очищення), значною витратою енергії та утворенням газоподібних продуктів, що вимагають додаткового очищення [2].

Інші методи знешкодження стічних вод і технологічних розчинів пов'язані з осадженням кисневмісних сполук арсену у вигляді кальцій, манган, ферум арсенатів або арсенітів і мають низку недоліків. Кінцеві продукти при такому виділенні арсену належать до токсичних сполук другого класу небезпеки й вимагають спеціального поховання, пов'язаного зі значними економічними витратами [3].

**Метою роботи** була розробка перспективного та економічно доцільного методу знешкодження розчинів, що містять арсен, який базується на його осадженні сульфідомісними реагентами.

**Матеріал і результати досліджень.** При використанні для осадження арсену сполук кальцію, мангану, феруму (у вигляді арсенатів або арсенітів) утворюються значні об'єми осаду з невисоким вмістом арсену.

Як приклад можна навести осадження арсену за допомогою вапна:



В обох випадках на утворення одного моля осаду, в якому масова частка арсену складає всього 30%, необхідно витратити три моля реагенту.

Відповідно до таких схем утворення великих об'ємів осаду має наслідком значні економічні витрати та відведення значних земельних ділянок для поховання відходів виробництва. Ці обставини погіршують техніко-економічні показники технологічних процесів.

Кальцій, манган та ферум арсенати й арсеніти належать до малорозчинних солей [4]. Але, не дивлячись на це, в розчині, що підлягає очищенню, залишкова концентрація арсену в 70-100 разів перевищує гранично допустиму норму для водоем, і після очищення стічних вод гашеним вапном необхідне додаткове розведення стоку, що не завжди можливо.

Щоб оцінити ступінь екологічної небезпеки сполук арсену, які утворюються при застосуванні традиційних та запропонованого методів осадження й підлягають похованню, нами застосовано розрахунковий метод з використанням гігієнічних регламентів і параметрів токсикометрії [5]. Як критерій шкідливої дії використовуюється параметр  $LD_{50}$ .

Під техногенним впливом твердих відходів, що підлягають похованню, в першу чергу опиняються ґрунти, тому індекс токсичності  $K$  розраховується за формулою:

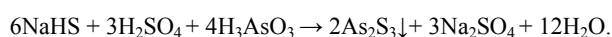
$$K = \frac{\lg(LD_{50})}{S + 0,1F + C_B},$$

де  $S$  – коефіцієнт, що відображає розчинність компонента у воді;  $C_B$  – вміст компонента в загальній масі відходів, визначається як т/т;  $F$  – коефіцієнт летючості компонента, що визначається тиском насиченої пари при температурі 20 °С.

Коефіцієнти токсикологічної небезпеки для арсен сульфідів та кальцій арсенату складають 2,4 і 2 відповідно.

В технологічних розчинах, що утворюються під час виробництва, арсен звичайно міститься у вигляді арсенатної або арсенітної кислот ( $\text{H}_3\text{AsO}_4$  і  $\text{H}_2\text{AsO}_4^-$  відповідно). Концентрація тривалентного арсену в розчині може складати близько 20 г/дм<sup>3</sup>, наявність важких кольорових металів і заліза не обмежується. Як реагент для проведення осадження можна використовувати натрій гідросульфід ( $\text{NaHS}$ ), натрій сульфід ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) або інші сульфідомісні реагенти [4]. Вміст сульфідної сірки в 1000 кг стандартного гідросульфідного розчину не менший за 138 кг.

Як приклад можна навести рівняння хімічної реакції осадження арсену натрій гідросульфідом:



Процес осадження доцільно проводити в реакторі з механічним перемішуванням (критерій Рейнольдса 800-5000) до залишкової концентрації арсену в розчині 30-40 мг/дм<sup>3</sup>. Питома швидкість дозування сульфідної сірки становить 1,0-4,9 кг на 1 м<sup>3</sup> розчину в 1 годину. При передозуванні відбувається виділення сірководню з розчину в атмосферу з одночасним осадженням арсен сульфідів. При питомих швидкостях дозування нижче 1,0 кг/м<sup>3</sup> год збільшується час обробки розчину. Витрата сульфідної сірки залежить від вмісту кислоти в розчині й складає 0,8-1,1 кг на 1 кг арсену. Наявність купрум, свинець, ферум, кобальт іонів та інших важких металів не впливає на хід процесу, а тільки збільшує витрату сульфідної сірки [6].

Нами запропонована технологічна схема пристрою для введення та контролю дозування сульфідуючих агентів (рис. 1).

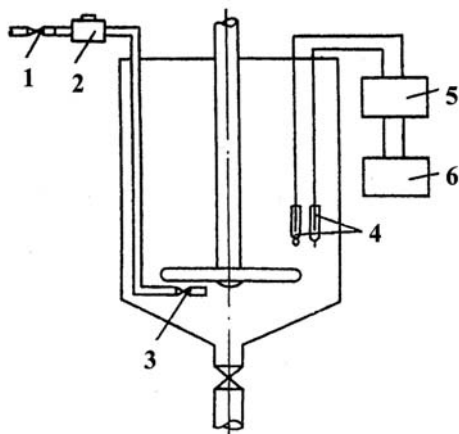


Рис. 1. Пристрій для введення та дозування сульфідовмісних реагентів

Сульфідовмісний реагент надходить по трубопроводу до нижньої частини реактора в розчин під перемішувачий пристрій. Трубопровід забезпечений замковим пристроєм на кінці. Пристрій складається із замкового вентиля 1, лічильника витрати рідини 2, замкового пристрою на кінці випуску живильного трубопроводу 3, вимірювального та допоміжного хлорсрібного електрода 4, електронного перетворювача або рН-метра 5, самописця для реєстрації окисно-відновного потенціалу 6.

Замковий клапан 3 автоматично закривається в момент різкого стрибка потенціалу на кривій реєстрації окисно-відновного потенціалу залежно від витрати сульфідовмісного реагенту. Вимірювання окисно-відновного потенціалу розчину здійснюється за допомогою електродів і фіксується на діаграмній стрічці самописця.

У результаті проведених досліджень отримані залежності зміни концентрації арсену (крива 2) і окисно-відновного потенціалу (крива 1), які наведені на рис. 2. На кривій 1 характерна точка стрибка потенціалу в бік зменшення відповідає припиненню зниження концентрації арсену в розчині.

Наявність замкового пристрою на кінці випуску (рис. 1) виключає можливість взаємодії реагенту, що залишається в трубопроводі, й робить процес безпечним. Лічильник витрати рідини дозволяє встановлювати й підтримувати оптимальний режим дозування сульфідної сірки в інтервалі питомих швидкостей 1,0-4,9 кг/м<sup>3</sup> год. Електрод ЭО-01 дозволяє набувати стабільного в часі значення окисно-відновного потенціалу для будь-яких складів розчину. Контроль процесу дозування й обробки відповідно до залежності окисно-відновного потенціалу дозволяє точно фіксувати кінець процесу осадження (момент різкого зменшення потенціалу) і, таким чином, виключити передозування реагенту.

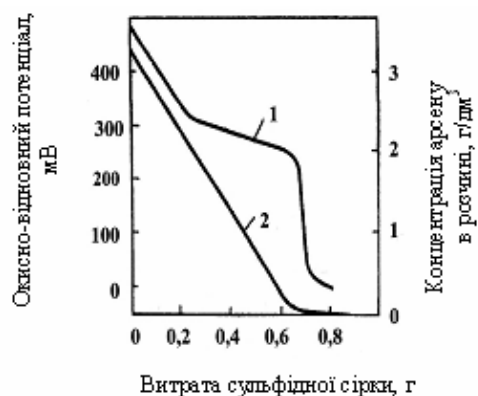


Рис. 2. Вплив витрати сульфідної сірки на концентрацію арсену в розчині та окисно-відновний потенціал

### Висновки

Встановлено, що кінцеві продукти знешкодження технологічних розчинів, які містять арсен, з використанням традиційних осаджувачів (гашеного вапна, ферум (II) сульфату), належать до токсичних сполук другого класу небезпеки і вимагають спеціального поховання.

Запропоновано метод утилізації арсеновмісних промислових відходів, який дозволяє підтримувати оптимальний режим дозування сульфідної сірки в інтервалі питомих швидкостей 1,0-4,9 кг/м<sup>3</sup> год, підтримувати стабільне в часі значення окисно-відновного потенціалу для будь-якого складу розчину, виключаючи передозування реагенту.

Рекомендується застосування методу осадження арсену у вигляді арсен (III,V) сульфідів з арсеновмісних технологічних розчинів та стічних вод підприємств по виробництву напівпровідникових матеріалів, скляної промисловості та кольорової металургії.

### Список літератури

1. Пасенко А.В., Зоман Б.В. Проектування технологічних процесів утилізації шламу водопідготовки ТЕЦ // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2008. – № 4. – С. 61-63.
2. Беспмятнов Г.П., Кротов Ю.А. Предельно-допустимые концентрации химических веществ в окружающей среде: Справочник. – Л.: Химия, 1985. – 528 с.
3. Пальгунов П.П., Сумарохов М.В. Утилизация промышленных отходов. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
4. Горновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч Е.Ф. Краткий справочник химика. – К.: Наукова думка, 1974. – 582 с.
5. Ершов Ю.А., Плетнева Т.В. Механизмы токсического действия неорганических соединений. – М.: Медицина, 1989. – 272 с.
6. Фримантл М. Химия в действии. – М.: Мир, 1991. – Т. 2. – 620 с.

Рекомендовано до публікації д.б.н. А.І. Горвою 15.10.09

УДК 504.064.3:504.53:502.37

А.В. Павличенко, Г.А. Кроїк

## ТОКСИКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ НАКОПИЧЕННЯ ТА РОЗПОДІЛУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ ПРОМИСЛОВИХ АГЛОМЕРАЦІЙ

Розроблена комплексна методика дослідження вмісту різних геохімічних форм важких металів у ґрунтах. Визначено вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах на територіях з різним рівнем техногенного навантаження. Проведено моделювання здатності ґрунтів накопичувати свинець, мідь, цинк та кадмій у нейтральних та кислих розчинах.

Разработана комплексная методика исследования содержания различных форм тяжелых металлов в почвах. Определено содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах на территориях с различным уровнем техногенной нагрузки. Проведено моделирование способности почв накапливать свинец, медь, цинк и кадмий в нейтральных и кислых растворах.

The complex method of research of various heavy metals content in soils is developed. The content of mobile forms of heavy metals in soils at the territories with different level of technogenic pressure is defined. The simulation of soils ability to accumulate plumbum, copper, zinc and cadmium in the neutral and acid solutes is executed.

Особливостями розвитку антропогенних процесів у промислових регіонах є формування якісно нових біохімічних провінцій. Це супроводжується комплексною поліелементною металізацією за наступною ланкою: джерела забруднення (викиди, відходи, стік) – депонування (ґрунт, донні відклади) і головні життєзабезпечуючі середовища (повітря, вода, продукти харчування) – організм людини.

Важкі метали (ВМ), як і інші хімічні забруднювачі, надходять до середовища мешкання людини не тільки за рахунок природних процесів, але і внаслідок інтенсивного розвитку промисловості, нераціонального використання природних ресурсів та урбанізації. Обсяги надходження у довкілля металів внаслідок техногенної діяльності суспільства у сотні і тисячі разів перевищують їх фонові концентрації, що у глобальному масштабі дорівнює або перевищує їх промисловий видобуток.

Важлива роль в циркуляції ВМ у довкіллі належить ґрунтам. Вони є важливим середовищем наземних екосистем, яке має універсальні адсорбційні властивості. Безперечно, саме ґрунт відображає рівень багаторічного антропогенного впливу на довкілля в цілому. При насиченні ґрунту хімічними компонентами, а саме ксенобіотиками, він може стати джерелом вторинного забруднення для водних джерел, атмосферного повітря, кормів та продуктів харчування.

Особливістю ґрунтів є те, що вони суттєво відрізняються від інших компонентів біосфери як за рівнем організації і складністю побудови, так і за функціями, які вони здійснюють. Напрямок процесів, які відбуваються у ґрунтах в кожний конкретний момент часу, контролюється багатьма факторами, у тому числі, температурою, вологістю, станом кислотноружної та окисно-відновної рівноваги [1].

ВМ надходять у ґрунт у формі оксидів і солей, як розчинних, так і практично нерозчинних у воді (сульфатів і сульфідів) [2]. Існує припущення, що окси-

ди ВМ закріплюються, головним чином, у твердій фазі ґрунту, особливо при нейтральному або лужному рН. Вважається, що вони рівномірно розподілені у ґрунті, в результаті чого їх токсична дія не проявляється у повній мірі, а залежить від таких основних чинників, як тип ґрунту та рН порового розчину. Слід відмітити, що поведінка ВМ у ґрунтах значною мірою відрізняється від поведінки більшості катіонів макроелементів. Проте, навіть при однакових величинах рН і Eh поведінка різних ВМ у процесі ґрунтоутворення може суттєво відрізнятись, що пов'язано із властивостями самих металів.

На відміну від інших середовищ (повітря, води, ґрунту), де переважають процеси розсіювання та розбавлення, у ґрунтах відсутня можливість їх швидкого очищення. Тому хімічні забруднювачі можуть зберігатися в них довгі роки і, включаючись у екологічні ланцюги, обумовлювати довготривалу дію токсикантів, що підвищує ризик виникнення хронічних інтоксикацій в організмі людини. Це підтверджується оцінкою медиків і гігієністів та їх висновками щодо підвищеної кількості хворих людей, які проживають в промислових регіонах, у порівнянні з умовно чистими, за рахунок накопичення ВМ в організмі та тканинах [3, 4]. Саме тому ґрунти потребують довготривалого екологічного обстеження (моніторингу).

**Метою даної роботи** є оцінка накопичення, розподілу та іммобілізації ВМ у ґрунтах промислових агломерацій.

**Об'єктами дослідження** є ґрунти на територіях з високим рівнем техногенного навантаження – міст Жовті води, Вільногірськ, Павлоград, Нікополь та низьким рівнем навантаження – територія курорту "Солоний Лиман" Новомосковського району Дніпропетровської області. На території кожного міста було вибрано 2-3 тест-полігони таким чином, щоб дослідження охоплювали як техногенні об'єкти, так і селітебні масиви. На тест-полігоні виділяли від 4 до 8

моніторингових точок, на яких з верхнього 5 см шару ґрунту методом конверта були відібрані проби масою 250 г. Ґрунт висушували, подрібнювали та просіювали крізь сито діаметром 1 мм.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставленого завдання була розроблена комплексна методика, яка включала дослідження вмісту різних геохімічних форм ВМ та проведення моделювання поглинальної здатності ґрунту щодо свинцю, міді, цинку та кадмію у нейтральних і кислих розчинах. Вміст ВМ у ґрунтах визначали методом атомно-абсорбційного аналі-

зу. Аналіз ґрунтів та моделювання процесів поглинання ВМ виконували на атомно-абсорбційному спектрофотометрі “Сатурн”. Рухомі форми ВМ визначали з використанням групового екстрагенту ацетатно-амонійного буферного розчину [5].

Визначення процесів трансформації ВМ проводили на зразках чорнозему звичайного малогумусного.

**Результати досліджень.** Результати визначення вмісту рухомих форм ВМ у зразках ґрунтів, відібраних на територіях з різним рівнем техногенного навантаження, наведено в табл. 1.

Таблиця 1  
Вміст ВМ у ґрунтах техногенно-навантажених міст Дніпропетровської області, мг/кг (рухомі форми)

№ проби	Тест-полігон	Mn	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Co	Cd
1	Сільськогосподарська зона курорту Солоний лиман	90,0±3,62	25,0±1,22	5,5±0,28	0,6±0,04	1,0±0,07	1,3±0,03	0,4±0,03	0,03±0,01
2	Рекреаційна зона курорту Солоний лиман	70,0±2,89	20,0±0,93	3,5±0,08	0,6±0,04	0,8±0,02	1,3±0,04	0,5±0,04	0,02±0,01
3	Селітебна зона м. Вільногірськ	220,0±8,46	35,0±1,73	11,0±0,91	3,8±0,09	2,0±0,04	2,4±0,04	0,8±0,04	0,02±0,01
4	Промислова зона м. Вільногірськ	100,0±5,0	50,0±2,00	22,0±1,0	3,8±0,10	2,8±0,1	2,2±0,05	0,8±0,04	2,0±0,1
5	Селітебна зона м. Павлоград	75,0±1,47	26,0±1,47	13,5±0,18	1,6±0,09	1,4±0,09	1,0±0,09	0,4±0,03	0,4±0,03
6	Промислова зона м. Павлоград	62,5±0,88	31,0±0,58	6,5±0,17	2,6±0,17	2,0±0,1	1,3±0,06	0,8±0,04	0,4±0,04
7	Селітебна зона м. Жовті Води	150,0±3,87	90,0±1,53	10,0±0,97	2,0±0,12	1,4±0,12	2,4±0,10	1,0±0,05	0,3±0,02
8	Промислова зона м. Жовті Води	200,0±4,56	90,0±1,22	52,5±0,87	3,2±0,06	5,0±0,09	4,0±0,09	0,5±0,02	0,5±0,04
9	Центр м. Нікополь	213,0±2,12	75,0±1,15	25,0±0,91	2,0±0,09	0,9±0,04	0,8±0,07	0,4±0,02	0,02±0,01
10	Район Південного трубного заводу м. Нікополь	175,0±5,0	60,0±2,0	26,5±1,0	1,8±0,1	1,4±0,1	2,2±0,05	0,4±0,03	0,02±0,01
11	Район с. Новопавлівка та с. Лапінка, м. Нікополь	313,0±1,87	25,0±1,14	30,0±1,05	2,0±0,07	1,4±0,09	1,2±0,09	0,4±0,02	0,02±0,01
12	Район Нікопольського феросплавного заводу	350,0±5,0	40,0±2,0	20,0±1,0	2,6±0,06	1,4±0,1	1,5±0,10	0,4±0,03	0,02±0,01
	ГДК	140,00	–	23,00	6,00	3,00	4,00	5,00	–

Аналіз даних табл. 1 вказує на різноманітну концентрацію важких металів у досліджених зразках ґрунтів. Це можна пояснити специфічними видами виробництва, які притаманні для кожного з досліджуваних промислових центрів. Так, на території м. Нікополь пріоритетними ВМ у ґрунтах є марганець та цинк. У м. Жовті води відмічено найбільший вміст марганцю, цинку, нікелю та міді, у м. Павлоград – цинку та хрому. Для м. Вільногірськ характерними забруднювачами виявились хром, кадмій та нікель. При цьому, на умовно контрольній території (курорту “Солоний лиман”) перевищення вмісту ВМ не відмічено.

Для оцінки ступеня забруднення ґрунтів ВМ проводилось порівняння фактичних концентрацій металів у досліджуваних зразках з ГДК. Аналіз отриманих даних вказує на те, що на території м. Жовті води перевищення концентрації над ГДК складає: цинку у

2,28; марганцю – у 1,43; хрому – у 1,67 разу. У м. Нікополь відмічено перевищення вмісту над ГДК для цинку у 1,30 разу та марганцю – у 2,5. Необхідно відмітити, що у селітебній зоні м. Вільногірськ виявлено перевищення вмісту марганцю у ґрунті над ГДК у 1,6 разу.

Крім того, було проведено зіставлення концентрацій ВМ у ґрунтах промислових міст з їх вмістом на території курорту “Солоний лиман”, яка зазнає мінімального техногенного навантаження (табл. 2).

Дані табл. 2 вказують на те, що найбільше перевищення концентрацій ВМ у ґрунтах спостерігається для кадмію на території промислової зони м. Вільногірська, а також значне його перевищення (в 16-20 разів) в містах Жовті води та Павлоград. Високе забруднення хромом та цинком спостерігається на території усіх промислових міст. Найменш забруднені досліджені території міст кобальтом.

Таблиця 2  
Перевищення фонового вмісту ВМ у ґрунтах

№ проби	Mn	Pb	Zn	Cr	Cu	Ni	Co	Cd
1	1,1	1,1	1,3	1,0	1,1	1,0	0,08	1,2
2	0,9	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0	0,10	0,8
3	2,8	1,6	2,5	6,3	2,3	1,9	0,16	0,8
4	1,6	2,3	5,0	6,3	3,2	1,7	0,16	80
5	0,9	1,2	3,0	2,7	1,6	0,8	0,08	16
6	0,8	1,4	1,5	4,3	2,3	1,0	0,16	16
7	1,9	4,0	2,3	3,3	1,6	1,8	0,20	12
8	2,5	4,0	11,9	5,3	5,6	3,0	0,10	20
9	2,7	3,4	5,7	3,3	1,0	0,6	0,08	0,8
10	2,2	2,7	6,0	3,0	1,6	1,7	0,08	0,8
11	3,9	1,1	6,8	3,3	1,6	0,9	0,08	0,8
12	4,4	1,8	4,5	4,3	1,6	1,2	0,08	0,8

Таким чином, у ґрунтах відбувається інтенсивне накопичення ВМ у кількостях, які значно перевищують їх природний кларк, що створює реальну загрозу розвитку живих організмів.

ВМ, які надійшли у ґрунт, передусім, їх мобільні форми, підлягають різним трансформаціям. Деяка їх частка при взаємодії з різними компонентами природних систем, і в першу чергу з ґрунтами, утворює слаборухомі сполуки. Одним з таких процесів є зв'язування металу гумусовими речовинами, закріплення металу здійснюється також в результаті утворення комплексних сполук між металами й органічними кислотами. Можлива адсорбція іонів металів на поверхні органічних колоїдних систем. Міграційна здатність металів за рахунок цих процесів знижується. Іншим можливим процесом зв'язування металів є їх адсорбція на поверхні мінеральних частинок. Мож-

ливе їх проникнення у міжпакетний простір глинистих мінералів або ізоморфне заміщення іонів інших елементів у кристалічній решітці. Низхідній міграції металів можуть перешкоджати гідроксиди й оксиди заліза і марганцю, які, звичайно, концентруються у верхній частині профілю ґрунтів.

Тому вивчення процесів трансформації ВМ та їх сполук і виявлення факторів, якими ці процеси керуються, є одним з важливих питань як у теоретичному, так і у практичному відношенні [6].

Вивчення закономірностей фазових переходів ВМ у ґрунтах є теоретичною базою для регулювання цих процесів з метою мобілізації елементів, необхідних рослинам, та виведення ВМ, які мають токсичні властивості, зі сфери біологічного поглинання рослинами.

У табл. 3 наведені результати щодо вмісту поживних речовин та складу обмінного комплексу ґрунту, для якого досліджувались процеси трансформації ВМ.

В табл. 4 наведений хімічний склад водно-сольового комплексу ґрунту.

Таблиця 3  
Вміст поживних речовин та склад обмінного комплексу ґрунту

Показники	Вміст	
Гумус, %	4,00	
Загальний нітроген, %	0,19	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , вал., %	0,12	
K <sub>2</sub> O, вал., %	2,02	
ЄКО, мг-екв/100 г	29,50	
Вміст обмінних катіонів, мг-екв/100 г	Ca	25,00
	Mg	4,00

Таблиця 4  
Хімічний склад водно-сольового комплексу ґрунту

Одиниці виміру	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Σ іонів
%	0,043	0,015	0,005	0,013	0,005	0,002	0,080
мг-екв/100 г	0,700	0,310	0,150	0,662	0,400	0,098	–

Ґрунт незасолений, тип засолення – гідрокарбонатно-кальцієвий. За даними рентгеноструктурного аналізу у тонкодисперсній фракції переважають каолінит, гідрослюда, монтморилоніт. Вміст окремих фракцій у ґрунті: алевриту – 47,7%, піску – 31,0%, пеліту – 9,7%, глини – 11,6%. Карбонатність ґрунту складає 3,3%, переважає карбонат кальцію (2%), вміст карбонату магнію складає 1% на 100 г ґрунту. Вміст металів, який визначали за даними солянокислих витяжок, вказує на те, що ґрунт в значній мірі збагачений залізом. Найменший вміст металів серед тих, що визначались, відповідає міді.

Поглиняльна здатність ґрунту щодо свинцю, міді, цинку і кадмію вивчалась як у нейтральних, так і у

кислих розчинах. Встановлено, що при pH = 2 поглиняльна здатність ґрунту дуже низька, потім вона різко зростає у діапазоні pH від 3 до 4. В цьому діапазоні величина поглиняльної здатності ґрунту підвищується у 4 рази. Подальше підвищення pH порового розчину не викликає суттєвої зміни поглиняльної здатності ґрунту.

За інтегральну характеристику використовували криву розподілу (ізотерму) поглиняльної здатності ґрунту, яка описує залежність розподілу ВМ між твердими фазами ґрунту і ґрунтовим розчином. Для достовірної оцінки максимальної можливої здатності ґрунту до сорбції ВМ додатково вивчали динаміку та кінетику цього процесу. Ця залежність на прикладі свинцю наведена у табл. 5.

Залежність сорбції свинцю ґрунтом у часі

C, мг/л	t = 1 год		t = 2 год		t = 1 доба		t = 2 доби	
	C, мг/л	N, мг/г	C, мг/л	N, мг/г	C, мг/л	N, мг/г	C, мг/л	N, мг/г
250	15	23,5	13	23,7	10	24	5	24,5
500	35	150,0	35	150,0	35	150	35	150,0
1000	600	40,0	565	43,5	540	46	520	48,0
2000	1650	35,0	1400	40,0	1520	48	1400	60,0

Визначено, що швидкість процесу поглинання металу залежить не тільки від часу, але й від його концентрації в поровому розчині. У кінетиці даного процесу можливо виділити дві стадії механізму поглинання: швидка (декілька хвилин) – катіонний обмін на поверхні глинистих частинок та повільна (години, доби) – дифузія катіонів у міжшаровому просторі.

Досліджено особливості поглинальної здатності ґрунту і встановлено, що свинець надзвичайно добре поглинається ґрунтами. До 90% свинцю, внесеного у ґрунт у вигляді легкорозчинних солей, переходить у поглинальний стан через декілька годин після внесення. Це відбувається тому, що свинець здатний утворювати важкорозчинні осади основних карбонатів, фосфатів або гідроксидів. Таку поведінку свинцю можна трактувати як здатність хімічних форм свинцю у техногенних викидах утворювати термодинамічно малостійкі сполуки. Тому, надходячи у ґрунт у техногенному вигляді, свинець швидко вступає у хімічні реакції і прагне перейти до більш стійкого стану.

Виявлено, що поглинання свинцю чорноземом супроводжується виділенням у розчин катіонів кальцію. Найбільший вплив на стан свинцю у ґрунті можуть спричинити аніони, які присутні у ґрунті у досить високих концентраціях – карбонат, гідроксид, сульфід, фосфат, сульфат. За умов нейтральної і лужної реакції ґрунту свинець порівняно легко може утворювати гідроксиди.

Поглинання кадмію ґрунтами відбувається швидко і, головним чином, за рахунок іонного обміну (табл. 6).

Таблиця 6  
Поглинання кадмію ґрунтом

C <sub>0</sub> , мг/л	pH	C <sub>св</sub> , мг/л	N, мг/г	C <sub>са</sub> , мг/л
5	8,3	0,4	4,6	0,2
10	7,9	1,8	8,2	0,3
15	7,9	4,8	10,2	0,4
20	7,9	8,0	12,0	0,6
50	7,8	31,5	18,5	0,5
100	7,7	78,5	21,2	0,6
150	7,3	130,0	20,0	0,7

Поглинання міді чорноземом пов'язано з перебігом процесів утворення осадів малорозчинних сполук даного елемента – гідроксиду, карбонату міді або змішаної солі. Порівняльний аналіз поглинальної здатності чорнозему малокарбонатного показав, що

за ступенем зниження сорбції вивчені метали можна розташувати у наступний ряд: Pb > Zn > Cd > Cu.

Таким чином, на територіях промислових агломерацій відбуваються процеси накопичення ВМ у ґрунтах, причому найбільше перевищення фонових значень вмісту кадмію спостерігається на території міст Вільногірськ, Жовті Води та Павлограду. В цих місцях також виявлені підвищені концентрації свинцю, міді, хрому, цинку, нікелю. Оскільки ці метали відносяться до I та II класу токсичності і характеризуються високими величинами коефіцієнтів транслокації, то можливе одночасне забруднення і рослин, що унеможливає їх включення у харчовий раціон. Позитивним моментом є те, що баланс накопичення вивчених металів може зсуватися в бік зниження за рахунок процесів трансформації їх у системі "ґрунт – техногенний розчин".

Враховуючи вищенаведене, для покращення фізико-хімічного моніторингу вмісту ВМ у ґрунтах необхідно: уніфікувати методологію досліджень ВМ у ґрунтах; виділити пріоритетні забруднювачі (з ВМ) для окремих промислових агломерацій; встановити кількісні залежності між рівнями забруднення ґрунту та вмістом ВМ у біооб'єктах; створити моделі міграції ВМ у ґрунтах з урахуванням процесів їх трансформації.

**Список літератури**

1. Важкі метали у ґрунтах Київського мегаполісу / А.І. Самчук, О.С. Єгоров, В.О. Стадник та ін. // Вісник Дніпропетровського університету. – 2002. – Вип. 4. – С. 154-161.
2. Гайдихович Е.В. Техногенные источники загрязнения почв тяжелыми металлами // Пошукова та екологічна геохімія. – 2003. – № 2/3. – С. 88-90.
3. Стусь В.П. Вміст важких металів у нирках мешканців Дніпропетровської області // Довкілля та здоров'я. – 2009. – № 2. – С. 20-24.
4. Рублевська Н.І. Аерогенне надходження важких металів в умовах м. Дніпропетровська // Довкілля та здоров'я. – 2009. – № 2. – С. 19-21.
5. Аримушкіна Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. – 490 с.
6. Кроик А.А. Процессы взаимодействия тяжелых металлов с почвой в условиях техногенеза // 36. науч. праць. – Дніпропетровськ: Навчальна книга, 1999. – С. 92-101.

Рекомендовано до публікації д.б.н. А.І. Горовою 12.10.09



И.И. Павленко, Г.С. Снадчук

## СИСТЕМА ВЫБОРА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ШАХТ ДЛЯ ИНВЕСТИРОВАНИЯ И ПОДДЕРЖАНИЯ ИХ МОЩНОСТИ

Метою даної статі є визначення ступеня залежності рівня капіталовкладень на підтримку потужності шахти від основних природних та індустріальних чинників, що характеризують інвестиційну привабливість підприємства.

Целью данной статьи является определение степени зависимости уровня капиталовложений на поддержание мощности шахты от основных природных и индустриальных факторов, характеризующих инвестиционную привлекательность предприятия.

The purpose of the article is to determine the dependence of capital investments for maintaining the productivity of mines on the main natural and industrial factors which characterize the investment attractiveness of enterprise.

**Введение.** Ограниченные инвестиционные возможности угольной промышленности являются одним из факторов, побуждающих наиболее эффективно использовать имеющиеся ресурсы капитальных вложений. Отсюда вытекает необходимость выбора шахт, на которых можно ожидать наиболее рациональное вложение средств [1].

Предлагаемые в ряде работ [2, 3] определения инвестиционной привлекательности угольных шахт определяют классификацию состояния шахт с точки зрения возможной эффективности капитальных вложений. Очевидно, что эта эффективность зависит от состояния шахты, которое характеризует коэффициент инвестиционной привлекательности. Однако использование одного только этого коэффициента не дает полного решения вопроса адресности финансирования, так как этот коэффициент не связан непосредственно с объемом капитальных вложений, необходимых для поддержания (и тем более увеличения) мощности данной шахты. Определение коэффициента инвестиционной привлекательности дает возможность произвести сравнительную оценку состояния шахт, но далее необходимо из полученной совокупности шахт с большими коэффициентами инвестиционной привлекательности выбрать те конкретные шахты, которым следует направлять ресурсы капитальных вложений.

**Постановка задачи.** Необходимо определить, насколько каждый из предлагаемых девяти природных и индустриальных факторов, характеризующих инвестиционную привлекательность, связан с капитальными вложениями для поддержания или увеличения мощности шахты. Задача будет решаться с помощью моделирования с максимизацией показателей перспективности шахты.

Для практического и объективного выбора первоочередных объектов инвестирования для целей совершенствования структуры шахтного фонда отрасли состояние шахты должно получить количественную оценку, что позволит произвести дифференциацию предприятий в плане отбора перспективной группы шахт.

Угольная шахта представляет сложную (большую) производственную систему, которая существенным образом отличается от предприятий обрабатывающих отраслей промышленности. Это отличие предопределено принципиальным различием элементов системы: в угольной шахте элементы системы подразделяются на две группы: природные – неуправляемые элементы в виде горно-геологических условий и природного качества полезного ископаемого; и индустриальные – управляемые элементы, в виде техники, технологий и организации производства. На предприятиях обрабатывающих отраслей все элементы системы относятся к управляемым, то есть только ко второй группе. Первопричина такого различия состоит в том, что в угольной шахте предмет труда изначально существует в природе, и производственный процесс (индустриальный фактор) сводится к выделению предмета труда из природной среды. В отличие от этого, производственный процесс на предприятиях обрабатывающей промышленности состоит в преобразовании исходного материала (природного или прошедшего соответствующую обработку) в желательные изделия или другой предмет.

Такое отличие производственных систем оказывает непосредственное влияние на формирование инвестиционной привлекательности угольных шахт.

Характеристика качественного влияния перечисленных факторов на инвестиционную привлекательность шахты сводится к следующему [4].

*Общая обеспеченность запасами* – срок службы шахты. Этот показатель практически не влияет на конкретные работы по поддержанию или увеличению мощности шахты. При малых остаточных запасах не предпринимают сложных работ, требующих крупных капитальных вложений.

*Удельный вес запасов в пластах с более благоприятными условиями.* Этот показатель оказывает наибольшее и непосредственное влияние на себестоимость добычи угля. С капитальными вложениями он связан косвенно и в основном по срокам выполнения работ. Например, при желании перейти к работе в

более благоприятных условиях (на пластах большей мощности) может потребоваться проведение вентиляционной скважины или бокового ствола с примыкающими выработками. Такие работы требуют, как правило, крупных капитальных вложений, но возникают редко и не имеют систематического характера.

*Удельный вес пластов с выдержанной мощностью (по площади).* Этот показатель может оказывать существенное влияние на себестоимость добычи угля, в частности в виду необходимости проведения горных выработок по пустым породам, но это, как правило, выработки эксплуатационного характера и затраты на их проведение непосредственно переносятся на себестоимость добычи угля. Связь с капитальными вложениями определенная, например, через ускорение сроков подготовки новых горизонтов.

*Мощность разрабатываемых пластов.* Этот показатель относится к числу важнейших и он непосредственно влияет на объем капитальных вложений. Это влияние может быть обусловлено разными причинами, например, увеличением числа действующих лав для обеспечения определенных объемов добычи изменением (ускорением) сроков подготовки выемочных столбов, проведения капитальных горных выработок и т.д.

*Минимальная глубина разработки.* Этот показатель оказывает непосредственное влияние на себестоимость добычи, так как с увеличением глубины разработки, как правило, усложняются условия эксплуатации. Связь с капитальными вложениями проявляется при строительстве шахты, подготовке новых горизонтов (выемочных блоков) или осуществлением специальных мероприятий, например, охлаждение воздуха. Такие затраты возникают сравнительно редко и не носят систематического характера.

*Пропускная способность основных звеньев шахты* – коэффициент технологической надежности. Этот показатель может существенно влиять на величину капитальных вложений на поддержание мощности шахт или ее увеличение. По определению этот коэффициент не более единицы и чем он меньше по своему значению, тем более велик разрыв в пропускной способности основных звеньев и для поддержания и увеличения мощности шахты необходимо больше капитальных вложений. Наиболее благоприятны в рассматриваемом плане те шахты, у которых коэффициент технологической надежности ближе к единице.

*Мощность шахт.* Мощность шахт оказывает непосредственное влияние на себестоимость добычи угля. Связь с капитальными вложениями проявляется при строительстве шахты, а также эпизодически при подготовке новых горизонтов, выемочных блоков, проходке новых стволов и т.д. Обычно показателем необходимости таких работ служит ограничение пропускной способности некоторых основных звеньев, в частности, проветривание шахты. Следовательно, связь данного фактора с капитальными вложениями учитывается коэффициентом технологической на-

дежности: если этот коэффициент существенно меньше единицы, то это означает, что мощность шахты ограничивается недостаточной пропускной способностью одного из основных звеньев и необходимы капитальные вложения на реконструкцию данного звена.

*Сложность подземного хозяйства.* Оказывает непосредственное влияние на себестоимость добычи угля, так как сопряжена с дополнительными затратами на ремонт и поддержание горных выработок, подземный транспорт, проветривание и т.д. Связь с капитальными вложениями отдаленная и на систематическая (через подготовку новых горизонтов, выемочных блоков, проходку вспомогательных скважин и стволов и т.д.).

*Средний объем годовой добычи угля.* Влияет, главным образом, на себестоимость добычи угля; связь с капитальными вложениями не систематична, аналогична указанной в предыдущем пункте.

Проведенный отбор дает основание сделать вывод о том, что из девяти факторов, характеризующих инвестиционную привлекательность шахты, наиболее тесно с капитальными вложениями связаны мощность разрабатываемых пластов и пропускная способность основных звеньев. Чем больше мощность разрабатываемых пластов и меньше различается пропускная способность отдельных основных звеньев шахты, тем меньше требуется капитальных вложений для поддержания или увеличения мощности шахты. Иначе говоря, при одних и тех же капитальных вложениях на этих шахтах можно получить больший эффект. Поэтому логично считать такие шахты более перспективными и направлять капитальные вложения в первую очередь на эти шахты.

Исходя из этих общих предпосылок, остается найти количественный показатель перспективных шахт и тем самым определить очередность капитальных вложений по шахтам в условиях ограниченных инвестиционных возможностей отрасли.

Рекомендуются для характеристики перспективности шахты (с точки зрения эффективности капитальных вложений) два показателя: мощность разрабатываемых пластов и пропускная способность основных звеньев шахты. Первый из этих показателей представляет природные, а второй – индустриальные факторы. Они (показатели) практически независимы друг от друга, так как при данной мощности пластов можно применить разные схемы подготовки шахтного поля и разные системы разработки, а также использовать разное оборудование. Оба показателя имеют одну и ту же желательную направленность изменения: а именно – большую величину этих показателей (в установленных пределах).

Так как рассматриваются относительные величины указанных показателей, то вполне логично и допустимо для характеристики перспективности шахты эти показатели перемножить. Назовем это произведение коэффициентом перспективности шахты. Это дает возможность оценить совокупное влияние указанных двух факторов. Действительно, при большей

(или меньшей) мощности разрабатываемых пластов пропускная способность основных звеньев шахт может быть различной, что оказывает свое влияние на перспективность шахты, и произведение двух факторов позволяет более объективно оценить степень перспективности предприятия.

Перейдем к выбору перспективных шахт. Постановка вопроса следующая: при данном объеме выделенных (имеющихся) на соответствующий год ресурсах капитальных вложений распределяют эти ресурсы между действующими наиболее перспективными шахтами.

Предлагается следующая схема. Исходя их лимитов капитальных вложений на вновь начинаемую реконструкцию действующих шахт и опыта освоения сметной стоимости, определяется ориентировочно количество шахт-кандидатов на получение капитальных вложений. Для возможности обоснованного выбора количество шахт должно быть не меньше десяти. Эти шахты выбираются из числа тех, которые имеют наибольшие коэффициенты инвестиционной привлекательности. При этом исключаем шахты с малыми остаточными сроками службы. Оставшиеся шахты (а именно 10) ранжируют в нисходящем порядке по показателю мощности разрабатываемых пластов.

Каждой шахте соответствует коэффициент надежности (пропускной способности) основных звеньев. Полученные два ряда относительных показателей перемножаются по каждой шахте, а затем полученные произведения ранжируются в нисходящем порядке. Из числа этих шахт выбираются те, у которых произведение двух указанных факторов наибольшее. Эти шахты – кандидаты на получение ресурсов капитальных вложений.

Следующий этап исследований – построение модели определения перспективных шахт. В качестве целевой функции принимается максимум коэффициентов перспективности шахты.

Выбор перспективных шахт:

$$A = \sum_{i=1}^{n'} G_i \rightarrow \max. \quad (1)$$

Ограничения

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n k_i &\leq K; \\ \sum D_i &\geq D_0; \\ n = \frac{1.5K}{q} &\geq 10; \\ G_i &= mq_i * tq_i. \end{aligned} \quad (2)$$

Условные обозначения в модели (1) – (2).  $A$  – целевая функция;  $K$  – годовой объем выделенных капитальных вложений на вновь начинаемую реконструкцию шахты;  $q$  – средний годовой объем освоения ресурсов капитальных вложений на вновь реконструируемой шахте;  $n$  – число шахт, которые можно реконструировать в соответствии с выделяемыми ка-

питальными вложениями; 1,5 – коэффициент резерва рассматриваемой шахты (чтобы довести число их не менее, чем до 10);  $q_i$  – индекс рассматриваемой шахты  $i = \overline{1, n}$ ;  $mq_i$  – мощность разрабатываемых пластов на  $i$ -й шахте (относительный показатель)  $i = \overline{1, n'}$ ;  $tq_i$  – коэффициент технологической надежности  $i$ -й шахты  $i = \overline{1, n'}$ ;  $G_i$  – коэффициент перспективности  $i$ -й шахты  $i = \overline{1, n'}$ ;  $G_i = mq_i * tq_i$ ;  $k_i$  – объем капитальных возможностей (годовой) для  $i$ -й шахты;  $D_i$  – добыча по  $i$ -й шахте,  $i = \overline{1, n'}$ ;  $D_0$  – заданный или желательный объем добычи.

К числу перспективных относится совокупность шахт с наибольшими значениями коэффициента перспективности в пределах выделенной суммы капитальных вложений.

В табл. 1 представлена группа шахт Добропольского и Красноармейского регионов Донбасса. В левой колонке шахты ранжированы по мощности разрабатываемых пластов. Известно, что на реконструкцию выделено на год 600 млн. грн, за которые можно выполнить работы на пяти шахтах. С учетом коэффициентов перспективности, согласно модели (1)-(2) в число перспективных включаются первые пять шахт.

Как известно, важнейшей составной частью инвестиционного процесса является распределение определенного лимита капитальных вложений из различных источников между потребителями. Этот процесс может рассматриваться на уровне отдельного предприятия (шахты) или региона, отрасли, но во всех случаях имеют место определенные соотношения между потребностью в капитальных вложениях и их ресурсами, которые всегда ограничены. Поэтому следующим этапом предлагаемого подхода к управлению инвестициями является процесс распределения между потребителями (шахтами) средств из государственного бюджета, направляемых на вновь начинаемую реконструкцию с целью увеличения объема добычи. В принципе, возможен и такой случай, когда объем добычи уменьшается, например, вследствие перехода на отработку запасов пластов меньшей мощности, но дополнительные капитальные вложения для поддержания уменьшенной мощности все же требуются.

Инвестиционный процесс соответствует определенной политике развития отрасли, если такая политика сформирована или если процесс формирует некоторую политику (положительную или отрицательную). В угольной промышленности на протяжении длительного времени распределение лимитов капитальных вложений происходило по принципу: давать деньги всем и, как правило, меньше, чем заявлено потребителем (шахтой). Происходила деконцентрация капитальных вложений со всеми вытекающими из этого отрицательными последствиями. Такую политику нельзя признать хорошей и прогрессивной, но это, по существу, некоторая, хотя и стихийно сложившаяся, политика.

Показатели перспективности группы шахт Добропольского и Красноармейского регионов Донбасса

Шахты, ранжированные по мощности пластов	Исходные данные		Уровень экономической надежности	Шахты, ранжированные по перспективности	Показатель перспективности
	$mq_i$	$tq_i$			
Белозерская	2,30	0,85	2,20	Белозерская	1,95
Новодонецкая	1,90	0,91	1,90	Новодонецкая	1,73
Пионер	1,70	0,81	1,94	Пионер	1,38
Алмазная	1,70	0,79	1,95	Алмазная	1,34
1-3 Новогородовская	1,40	0,55	1,10	Добропольская	1,16
Добропольская	1,30	0,89	2,40	Россия	0,81
Россия	1,30	0,62	1,05	1-3 Новогородовская	0,77
Украина	1,30	0,51	0,86	Белицкая	0,76
Кураховское	1,30	0,50	0,80	Украина	0,66
Белицкая	1,00	0,76	1,24	Кураховское	0,65

**Выводы**

Предполагаемая схема инвестирования соответствует политике, которую можно охарактеризовать как политику такого направления капитальных вложений, когда они будут использованы с наибольшим эффектом.

Если такая политика осуществляется фактически долго, то она приведет к постепенному вытеснению (закрытию) менее эффективных шахт из-за снижения объема добычи, возрастанию – часто весьма значительному – себестоимости.

Предлагаемая схема инвестиционной политики действует в направлении уменьшения числа шахт (при данном объеме добычи), то есть повышения уровня концентрации и возрастанию эффективности работы определенных шахт и отрасли в целом.

**Список литературы**

1. Яценко Ю.П. Управление процессами финансового оздоровления угольных компаний // Уголь Украины. – 2003. – № 8. – С. 4-10.
2. Садеков А.А., Лисова Н.А. Инвестиционная привлекательность предприятия. – Донецк: ДГУЭТ, 2001. – 270 с.
3. Павленко І.І., Трифонова О.В. Вдосконалення системи комплексної оцінки інвестиційної привабливості вугільної шахти // Схід. – 2005. – № 5(71). – С. 26-29.
4. Павленко І.І., Трифонова Е.В. Вугільна шахта в аспекті адресного інвестування // Академічний огляд. – 2005. – № 2. – С. 62-66.

*Рекомендовано до публікації д.е.н. А.О. Задосю 07.10.09*

УДК 339.924

**В.В. Козакова**

## **ОЦІНКА ПРОБЛЕМИ ВКЛЮЧЕННЯ ДЕРЖАВ ДО ІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ВИКОРИСТАННЯ МІЖНАРОДНИХ КОНКУРЕНТНИХ ПЕРЕВАГ НАЦІОНАЛЬНИХ ЕКОНОМІК**

Розглянуто теоретичні основи міжнародної економічної інтеграції, визначено особливості сучасного етапу міжнародних інтеграційних взаємодій, досліджено теоретичні аспекти розвитку регіональної політики в умовах глобалізації.

Рассмотрены теоретические основы международной экономической интеграции, определены особенности современного этапа международных интеграционных взаимодействий, исследованы теоретические аспекты развития региональной политики в условиях глобализации.

Theoretical bases of international economic integration are explored, the features of the modern stage of international co-operations of integrations are certain, the theoretical aspects of development of regional policy are explored in the conditions of globalization.

**Актуальність теми.** Однією з найхарактерніших рис сучасного етапу економічного розвитку є розвиток процесів міжнародної економічної інтеграції,

пов'язаний із всебічним поглибленням міжнародного розподілу та кооперації праці, посиленням взаємозалежності між окремими країнами та господарськими

регіонами світу, надзвичайно швидким поширенням економічної інформації, зростанням обсягів перетікання капіталу, фундаментальними структурними зрушеннями в системі міжнародної економіки.

Глобальне виробництво, світові ринки, міжнародна конкуренція формують передумови для вільного переміщення товаровиробників і експортерів у межах світового господарства. Глобалізація економічного розвитку усіх сторін сучасного господарського життя диктує відповідні вимоги, необхідність забезпечення кількісних і якісних параметрів і для української економіки, яка включається у світогосподарські процеси з метою реалізації у міжнародному економічному середовищі власних порівняльних і конкурентних переваг. Найбільш результативним механізмом включення України у світогосподарські процеси є її участь у міжнародних інтеграційних угрупованнях.

Міжнародна економічна інтеграція для багатьох країн створює можливості більш ефективної економічної спеціалізації, особливо в науково-технічній сфері: даний процес дозволяє об'єднати ресурси країн, що інтегруються, з метою розвитку певних видів виробництва або наукових досліджень у випадках, коли необхідні для цього кошти перевищують можливості кожного учасника окремо. Обґрунтовано, що необхідною умовою інтеграції країн є, по-перше, наявність розвиненої інфраструктури, по-друге – прийняття певних економічних і політичних рішень з боку урядових органів країн.

Сучасна регіональна парадигма тяжіє до інтегративної трансформації європейського зразка, де соціальна складова досить чітко ідентифікується появою теорії соціального кластера на основі теорій конкуренції європейських міст, локального партнерства, циклічної сенситивності регіонів, регіональної конкуренції, нового регіоналізму, стратегії просторового планування тощо. Обґрунтовано, що в процесі реалізації стратегії вирівнювання з метою забезпечення економічної і політичної єдності регіонів зростає значення зовнішніх факторів. Обґрунтовано необхідність розробки методологічного забезпечення розвитку внутрішніх регіонів та їх поступової адаптації до умов глобалізації.

На сучасному етапі трансформації світового господарства для розвитку національних виробництв необхідною є взаємодія з іншими країнами, участь у міжнародному розподілі праці та міжнародному обміні. Аналіз розвитку міжнародної економічної діяльності країн світу в регіональному (географічному), товарно-галузевому та соціально-економічному аспектах свідчить про поглиблення міжнародного розподілу праці. При цьому встановлено, що незважаючи на економічну рецесію останнього десятиліття, зростання обсягів міжнародної торгівлі випереджає зростання обсягів виробництва. Лідуючі позиції у даному процесі належать регіональним об'єднанням, до складу яких входять високорозвинуті країни – ЄС, NAFNA, ASEAN, MERCOSUR, в яких значна частина зовнішньої торгівлі припадає на внутрішньорегіональну торгівлю: в Європейському Союзі – 67,7%, в

країнах NAFNA – 55,9%, ASEAN – 23,2%, MERCOSUR – 12,5%.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано, що оскільки відкритість економіки України зумовлена надмірною залежністю від імпорту енергоносіїв, низьким внутрішнім платоспроможним попитом, експортом низькотехнологічної металургійної продукції, орієнтацією на зовнішні джерела фінансування в умовах кризи внутрішнього інвестування, визначення пріоритетних шляхів геостратегічного розвитку має спиратись на оцінку ризиків, що виникають при розбудові багатовекторної інтеграції країни. Необхідністю є побудова принципів відносин з країнами ЄС на стандартах ЄС, що в перспективі забезпечить створення загального європейського економічного простору.

Треба звернути увагу на основні напрями диверсифікації зовнішньоторговельних відносин України в умовах глобалізації. Визначено, що основним перспективним напрямом розвитку зовнішньоекономічної діяльності держави має стати машинобудування, для чого необхідно забезпечити: модернізацію виробництва з провадженням нових прогресивних технологій на основі енергозбереження; використання високих технологій для виготовлення продукції загального промислового призначення; зростання питомої ваги сертифікованого устаткування, що виготовляється в машинобудівній галузі. Прискорення еволюційного розвитку за рахунок реалізації інноваційно-інвестиційних процесів, підвищення ефективності кадрової політики підприємств і удосконалення системи управління виробництвом, удосконалення маркетингової політики щодо вивчення ринків збуту продукції з метою збільшення обсягів експорту.

Таблиця 1  
Вплив скасування торговельних тарифів на зміну економічного добробуту в країнах ЦСЄ та ЄС, млн. дол. США

Регіон	Еквівалентна варіація
Польща	869,98
Чеська Республіка	60,11
Словаччина	72,68
Угорщина	382,37
Словенія	72,76
Естонія	3,69
Латвія	9,82
Литва	60,96
Європейський Союз	432,37
СНД	182,5
NAFNA	-136,63
ASEAN	85,82
Решта країн світу	28,27

Дані таблиці свідчать про необхідність розробки напрямів удосконалення включення національних економік до процесів міжнародної інтеграції в умовах глобалізації економіки на основі максимально

повного використання міжнародних конкурентних переваг.

Серед напрямів інтеграційних взаємодій за участю України як пріоритетні визначено такі: ЄС, Європейський Союз, Організація чорноморського економічного співробітництва, країни Центральної та Південно-Східної Азії.

У реалізації міжнародної економічної співпраці в рамках визначених інтеграційних пріоритетів особлива роль має належати таким напрямам міжнародної економічної діяльності країни, як: удосконалення сировинного експорту; відновлення обсягу традиційного експорту продукції машинобудування; використання інвестиційного співробітництва з іншими державами в галузі енергетики, металургії й об'єктів транспортування газу, реконструкції і модернізації раніше побудованих за кордоном підприємств; використання тимчасової дешевини основних факторів виробництва – виробничих фондів, робочої сили, технологій; використання унікальних високих технологій низки секторів промисловості з високим експортним потенціалом; переорієнтація на інформацію як на стратегічний ресурс; сприяння підвищенню конкурентоспроможності вітчизняної продукції; спрямування українських інвестицій у країни, що розвиваються, створення на їх територіях спільних підприємств.

Стратегічним завданням при цьому має стати реструктуризація національної економіки, швидка докорінна модернізація промисловості на базі модернізації машинобудування (в першу чергу – важкого) з метою створення конкурентоспроможної на світовому ринку продукції.

Оскільки в інфраструктурному забезпеченні інтеграційних процесів в умовах глобалізації вирішальна роль, як встановлено, належить транспортній складовій, зроблено висновок щодо необхідності розбудови Національної транспортної стратегії, яка має базуватись на: Концепції сталої національної транспортної політики розвитку всіх видів транспорту; участі у спільному розвитку Пан'європейських коридорів та у програмі ТРАСЕКА; державному фінансуванні пріоритетних транспортних об'єктів («shadow-tolling» тощо); розвитку співробітництва у сфері супутникової навігації.

Доведено, що модель співробітництва України з ЄС має ґрунтуватись на забезпеченні міжнародної конкурентоспроможності національної економіки на інноваційній основі з метою досягнення європейських соціально-економічних параметрів розвитку (досягнення європейського рівня продуктивності праці, прибутковості виробництва, заробітної плати та ін.), з одного боку, та створення зони вільної торгівлі Україна – ЄС (на основі асиметричного відкриття ринків на користь України) – з іншого; а також на поглибленні інтеграційних процесів на основі секторальної (галузевої) інтеграції.

У процесі визначення регіонально-інтеграційних перспектив участі України в світовій економічній системі в умовах глобалізації доведено, що посилення інтеграційних процесів між державами в рамках ЄС сприятиме утвердженню в Східній Європі зони по-

стійного розвитку (на базі створення зони вільної торгівлі) і темпів економічного зростання на рівні 6-7%.

Зроблено висновок, що для проведення ефективної зовнішньоекономічної політики країн потрібне максимальне використання потенціалу промислових кластерів на основі оцінки галузевої спеціалізації, міжнародних конкурентних переваг, при цьому потенціал регіону можна описати виробничою функцією:

$$Q = F(A, T, Rn, Ins, O, Inf),$$

де  $Q$  – продукт виробництва;  $F$  – загальна функція виробництва;  $A$  – людський фактор;  $T$  – технологічний фактор;  $Rn$  – природний фактор;  $Ins$  – інституціональний фактор;  $O$  – організаційний фактор;  $Inf$  – інформаційний фактор.

З використанням алгоритму формування та оцінки функціонування регіональних кластерів як основи забезпечення міжнародної конкурентоспроможності національних економік обґрунтовано, що для успішної реалізації можливостей розбудови міжнародного економічного співробітництва в умовах глобалізації через використання потенціалу регіональних кластерів необхідною умовою є забезпечення сприятливого бізнес-клімату на визначеній території і перехід від короткострокового до довгострокового бізнес-планування (на 5 та більше років).

**Висновки.** В результаті проведеного дослідження обґрунтовано, що в процесі міжнародної економічної інтеграції для країн виникають можливості більш ефективної економічної спеціалізації за рахунок об'єднання ресурсів країн у випадку нестачі коштів кожного окремого учасника інтеграційної взаємодії.

Утворення регіональних інтеграційних блоків необхідно розглядати як реакцію захисного характеру країн на втрату частини суверенітету в результаті глобалізації. В умовах глобалізації суттєво зростає роль інфраструктурної складової розвитку міжнародних економічних зв'язків, особливо транспортної складової – інтернаціоналізації транспортного обслуговування світогосподарських зв'язків, розвитку міжнародних транспортних коридорів, використання мультимодальних транспортних технологій тощо.

Дослідження розвитку міжнародної регіональної політики має відбуватись на основі інтегральної парадигми (розгляд регіонів як складних об'єднаних ієрархічних комплексів різного таксономічного рівня внаслідок мультипарадигмального характеру світової спільноти). Для постсоціалістичних країн доцільним є використання парадигми «регіон як квазідержава» з подальшим зрушенням у бік парадигми «регіон як квазікорпорація» і «регіон як соціум». Існує необхідність розробки методологічного забезпечення розвитку внутрішніх регіонів та їх поступової адаптації до умов глобалізації.

Досліджено теоретичні основи міжнародної економічної інтеграції, визначено особливості сучасного етапу міжнародних інтеграційних взаємодій та теоретичні аспекти розвитку регіональної політики в умовах глобалізації.

*Рекомендовано до публікації д.е.н. І.І. Павленко 06.10.09*

УДК 339.92

Л.П. Кудирко

## ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ ЗОВНІШНЬОТОРГОВЕЛЬНИХ ВІДНОСИН УКРАЇНИ В РОЗРІЗІ МІЖНАРОДНИХ ІНТЕГРАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ

Розглянуто інтеграційні пріоритети сучасної України як інституціональні детермінанти розвитку зовнішньоторговельних відносин. Визначено суперечливий вплив біполярної стратегії інтеграції, обґрунтовано тезу щодо низького рівня ефективності інтеграційних заходів за участі України, що стримує повноцінне використання потенціалу регіональної інтеграції для реалізації її національних інтересів.

Рассмотрены интеграционные приоритеты современной Украины как институциональные детерминанты развития внешнеэкономических отношений. Определено противоречивое влияние биполярной стратегии интеграции, обоснован тезис о низком уровне эффективности интеграционных мероприятий при участии Украины, что сдерживает полноценное использование потенциала региональной интеграции для реализации ее национальных интересов.

This article studies the integration priorities of modern Ukraine as institutional determinants of foreign trade relations development. The discordant influence of bipolar integration strategy is defined in the article. The thesis of low level efficiency of integration measures within Ukraine's participation that restrains the full usage of regional integration potential for its national interests' realization is substantiated.

Одним із дієвих механізмів інтеграції України в світогосподарські зв'язки є членство в інтеграційних об'єднаннях, що дозволяє вийти на новий рівень взаємодії між Україною та іншими економіками, використовуючи при цьому переваги міжнародного співробітництва, зокрема в сфері зовнішньої торгівлі та інвестування. Особливістю сучасної інтеграційної стратегії України залишається балансування між західноєвропейським та східноєвропейським векторами взаємодії, пошук адекватних механізмів реалізації її економічного, трудового, ресурсного тощо потенціалу. Фахівці характеризують її як бігравітаційну модель [1], що знаходить свій розвиток під впливом та тиском двох альтернативних центрів тяжіння. Проблеми реалізації національних інтересів в умовах регіональної інтеграції національних економік, наслідки макроекономічних ефектів використання різних форматів інтеграції для розвитку зовнішньої торгівлі країн-учасниць отримали дослідження як в працях представників зарубіжної економічної думки Дж. Вайнера, Я. Бхагваті, П. Сазерленда, так і вітчизняної економічної науки – І. Бураківського, Д. Лук'яненка, В. Сіденка, Ю. Пахомова, В. Новицького, А. Філіпенка, Т. Вахненка, Т. Циганкової, Т. Мельника та багатьох інших. У роботах українських науковців досліджуються передумови, пріоритети та принципи формування інтеграційної парадигми зовнішньоекономічної стратегії сучасної України як інструменту посилення конкурентоспроможності вітчизняної економіки в умовах системної трансформації та глобальних викликів. Предметом даної статті є ідентифікація проблем в розвитку зовнішньоторговельних зв'язків сучасної України на тлі вкрай низької результативності в реалізації її інтеграційних спрямувань. Акцентуючи увагу на ефективності використання інтеграційного потенціалу новітньої України, варто зосередити увагу на окремих проблемних та

суперечливих моментах взаємодії України з двома найбільш вагомими для неї економічними блоками ЄС та СНД.

Останній XII саміт Україна – ЄС, що пройшов у вересні 2008 року, вперше за всі роки співробітництва із європейською спільнотою зафіксував у своїх підсумкових документах європейські прагнення України та констатував її статус як „європейської держави”. І це, безумовно, успіх в еволюції взаємовідносин. Разом з тим Саміт не запропонував новий формат взаємодії між нашою країною та ЄС, який був визначений як Угода про асоціацію з ЄС, про що так сподівалася Україна. Робочий варіант формулювання щодо перспектив членства України в ЄС, попри наймовірні намагання української сторони, звівся до двох тез: перша зазначила, що майбутній договір про асоціацію не дає Україні перспектив членства в ЄС, друга констатує – *“суть майбутніх відносин України та Євросоюзу лишається відкритою”*. Ще одним підсумком цього Саміту стала відмова ЄС навіть розпочинати переговори про запровадження безвізового режиму з Європейським Союзом [2].

Нині вітчизняні та зарубіжні аналітики досить жваво коментують результати цього Саміту та запропонованої весною 2009 року нової стратегії взаємодії між Україною та ЄС в розрізі концепції Східне партнерство, прогножуючи подальший перебіг взаємин. На наш погляд, не варто драматизувати сам факт не підписання такої очікуваної для української сторони Угоди про асоціацію із таких міркувань. В праві ЄС немає понять асоційована або повноправна держава-член. Установчі договори ЄС згадують лише про «держав-членів». Тому досягти «асоційованого членства» в ЄС Україна не зможе в принципі. Угода про асоціацію – це поняття права ЄС, українське законодавство не виокремлює такого типу міжнародних договорів. У Договорі про заснування Європейського



співтовариства 1957 р. термін «асоціація» в аспекті зовнішніх відносин Співтовариства вживається у двох значеннях. По-перше, як специфічний правовий статус несвропейських країн і територій, що перебувають під суверенітетом окремих держав – членів ЄС. Міжнародні угоди з такими територіями не укладаються, а зміст асоціації визначається правовими актами ЄС. Друге значення – режим відносин з державами, що не є членами ЄС. Стаття 310 Договору про Європейський Союз (ДЄС) уповноважує Європейське Співтовариство укладати «угоди про встановлення асоціації, яка передбачає взаємні права та зобов'язання, спільні дії та особливі процедури» [3].

Уперше угоди про асоціацію були укладені з Грецією і Туреччиною на початку 1960-х років, щоб підготувати їхній вступ до Співтовариств. На сьогодні ЄС має угоди про асоціацію з близько ста країнами світу: як з тими, що розвиваються, так і з високорозвиненими (учасниками Європейського економічного простору – Ісландією, Ліхтенштейном і Норвегією).

Останні два роки в перебігу підготовки нових спільних угод між Україною та ЄС (Угода про партнерство та співробітництво 1994 року в 2008 році добігла свого кінця) українська сторона не полишала спроб добитися фіксації чіткого сигналу від співтовариства про перспективи свого членства. Насамперед, згадка про це повинна була знизити ризик того, що в інституціях ЄС розгляд «українського питання» гальмуватиметься з посиланням на складність процедури прийняття рішень у ЄС. Не безпідставними були б також сподівання щодо змін у внутрішній організації забезпечення співпраці Союзу з Україною, – збільшення обсягу фінансової допомоги, більшого залучення інституцій ЄС до здійснення Україною необхідних реформ тощо. Також це положення мало змінити сприйняття України в ЄС не лише серед політичних еліт, але й більш широких суспільних верств. Так само воно повинно спричинити потужний вплив на зміст внутрішньополітичного життя України та її геополітичні пріоритети. І нарешті, наявність чи відсутність такого положення визначало глибину інтеграції, якої мали б досягти сторони в результаті його виконання.

Разом з тим достатньо звернути увагу на досить красномовні цифри, які засвідчують стан виконання Плану дій Україна – ЄС, який засвідчує реальну готовність інтегруватись в європейську співтовариство. Зокрема, мова йде про допомогу ЄС та готовність України в її отриманні при проведенні інституційних реформ по двох напрямках: навчання та підготовка державних службовців роботі по європейських стандартах (програма Twinning /TAIEX) та структурні зміни: пряма підтримка реформування окремих галузей згідно європейським стандартам. Найбільш успішно заплановані та профінансовані заходи в межах Плану дій були здійснені в 2005-2006 роках. Наприклад, з напряму взаємодії „залучення громадських організацій до виконання Програми дій Україна –

ЄС” в 2005 році було проведено 30 заходів, в 2007 – 16, в 2008 – жодного. По виконанню плану дій щодо захисту довкілля в 2005 році здійснено 24 заходи, в 2007 – 19, в 2008 – жодного. Така тенденція щодо згортання співробітництва простежується по всіх напрямках. По окремих питаннях взаємодії за останні чотири роки не було зроблено взагалі нічого, зокрема, по питаннях перекладу актів національного законодавства на мови ЄС – жодного заходу [2].

Якщо ж звернути увагу на масштаби фінансової допомоги, які засвідчують її вагомість для європейської та української сторін, то вони такі: починаючи з 1991 року ЄС (без врахування внеску окремих країн-членів ЄС) надав допомоги на суму близько 2,8 млрд. євро. Фінансова допомога, отримана по програмі партнерства, в 2008 році склала 138 млн. євро, сукупні обсяги допомоги на 2007-2010 рр. передбачені в розмірі 494,5 млн. євро. Для порівняння: за оцінками експертів річні надходження в Україну через грошові перекази українських заробітчан за останні три роки поспіль коливаються в інтервалі 4-8,4 млрд. дол. А за оцінками Міжнародного благодійного фонду Карітас Україна та Інституту народознавства НАН України за 2008 рік ними було переведено додому близько 20 млрд. євро, що дорівнює 20% ВВП країни [4] (це наразі сама значна зовнішня фінансова експансія на вітчизняний монетарний простір, що за розмірами переважає сукупний транс Україні з боку МВФ в 2009 року загальним обсягом 16,5 млрд. дол.).

За таких обставин, як в самій Україні, і ще вірогідно більше в самій Європі, скептиків щодо української перспективи в ЄС щороку збільшується. Разом з тим не можна не бачити певні успіхи, які, нехай і повільно, але інтегрують Україну в європейський економічний простір. Має місце узгодження 19 із 26 секторальних угод в рамках майбутньої Угоди про партнерство та співробітництво між Україною та ЄС. До результатів, які були отримані лише за останній рік, можна також віднести:

– прийнято і запроваджено в дію угоду про візове спрощення та реадмісію в сфері юстиції, внутрішніх справ та міграції,

– досягнуто значний прогрес в перемовинах з низки галузевих питань:

а) в торговельно-економічній сфері, де мова йде про поглиблену Зону вільної торгівлі;

б) в енергетиці, де починається приєднання України до Договору про Енергетичне співтовариство;

в) в авіації, де почався процес входу в Загальний авіаційний простір ЄС;

г) в сільському господарстві, охороні довкілля, телекомунікаціях, банківсько-фінансовій та багатьох інших сферах.

Хоча поки що рано вести мову про підписання кінцевих документів щодо посилення зовнішньоторговельної лібералізації відносин з ЄС, разом з тим не може не виникати цілком слушне питання щодо того, яким чином країна, набувши членства в СОТ та взявши на себе зобов'язання максимальної лібералізації внутрішнього ринку та зовнішньої торгівлі, буде

узгоджувати ці зобов'язання через торговельні відносини із ЄС в форматі зони вільної торгівлі. І чи не буде це слугувати деструктивним чинником для розвитку українсько-російського торговельного партнерства? Адже зона вільної торгівлі – це перш за все, група з двох чи більше митних територій, на яких мита та інші обмежувальні засоби регулювання торгівлі скасовуються відносно основної частини торгівлі між складовими територіями стосовно товарів, які походять із таких територій. Країни, що входять до зони вільної торгівлі, поступово скасовують митні та інші бар'єри в торгівлі, між собою, але зберігають при цьому власний митний тариф відносно товарів, що походять з території третіх країн. При цьому преференції, що надаються країнам-членам зони вільної торгівлі, не розповсюджуються автоматично на треті країни, і товари, що увійшли для вільного обігу на митну територію однієї із країн-членів зони вільної торгівлі, не можуть надійти у вільний обіг на території зони в цілому.

Хоча ГАТТ/СОТ дозволяє створення митних союзів і зон вільної торгівлі, разом з тим чітко вказується критерій: їх утворення не повинне призвести до створення додаткових обмежень на шляху розвитку вільної торгівлі, при цьому країни при створенні економічних інтеграційних блоків мають керуватися наступними правилами [5]:

– згідно з ГАТТ Стаття XXIV: 5(a): мита та інші засоби регулювання торгівлі, які накладаються при заснуванні митного союзу, відносно торгівлі із третіми країнами (не членами союзу) не повинні в цілому бути вищими чи більш обмежувальними, ніж загальний обсяг мит та засобів регулювання торгівлі, які застосовувалися на складових територіях до утворення такого союзу;

– згідно з ГАТТ Стаття XXIV: 5(b): мита та інші заходи регулювання торгівлі, що діють у кожній із складових територій зони вільної торгівлі не повинні бути вищими чи більш обмежувальними, ніж відповідні мита та інші засоби регулювання торгівлі, які діяли на цих же складових територіях до утворення зони вільної торгівлі.

Слід зазначити, що усі перераховані вимоги висуваються і до тимчасової угоди, яка веде до створення зони вільної торгівлі. Якщо ж договірною стороною ГАТТ, яка приєднується до митного союзу, або яка стає стороною тимчасової угоди, що веде до створення митного союзу, пропонує підвищити зв'язані ставки мита, то вона повинна діяти відповідно до положень Статті XXVIII, якою визначаються правила внесення змін до Розкладів тарифних поступок.

Проблема узгодження інтересів України із своїми стратегічним торговельними партнерами, а такими виступає як Європейський Союз, так і Росія, давно є предметом дискусій як на рівні зацікавлених держав, так і міжнародних організацій як інституту наднаціонального регулювання. Сторони ГАТТ неодноразово переглядали питання про те, чи сумісна економічна інтеграція між окремими її членами з положенням Генеральної угоди.

Наприклад, створення Європейського Економічного Співтовариства викликало значні дебати щодо відповідності Угоди про ЄС положенням ГАТТ. Фактично існування Співтовариства було визнано тільки починаючи з Раунду Діллона, під час якого шість країн ЄС діяли єдиним блоком. Наслідки розширення Європейського співтовариства у 1973 році були детально досліджені договірними сторонами ГАТТ. У той час як нові країни-члени ЄС повинні були прийняти загальний зовнішній тариф та сільськогосподарську політику первісних шести країн-членів, вони повинні були відкликати багато попередньо погоджених в рамках ГАТТ тарифних поступок. Переговори з метою забезпечення компенсації країнам, чия торгівля могла зазнати втрат внаслідок збільшення митних ставок, призвели до зниження ставок загального зовнішнього тарифу Співтовариств на різні види товарів.

Крім того, країни-члени ГАТТ дуже обережно поставилися до створення такої зони вільної торгівлі, як Європейська асоціація торгівлі (ЄАВТ), та до Угоди, згідно з якою створювалась зона вільної торгівлі між Великобританією та Ірландією в грудні 1965 року. Як і у випадку з угодою про ЄС, не було прийнято жодного рішення щодо їх відповідності положенням ГАТТ [6, с. 104].

Наведені приклади демонструють, яку значну увагу країни-члени ГАТТ/СОТ приділяють питанням створення інтеграційних об'єднань в сфері зовнішньої торгівлі, їх відповідності загальним принципам недискримінації. На думку більшості її експертів, і зони вільної торгівлі, і митні союзи відволікають країни світу від багатосторонніх торговельних переговорів у форматі СОТ, викривляють товарні потоки, призводять до ускладнення умов зовнішньої торгівлі та дискримінації країн, що не беруть участі у двосторонніх угодах. Ці загрози глобальній торговельній системі були озвучені консультативною Радою СОТ у доповіді П. Сазерленда „Майбутнє СОТ” [7] з нагоди десятиріччя СОТ в 2005 році. В цій доповіді дана комплексна оцінка слабких сторін СОТ як глобальної торговельної системи та визначені шляхи щодо їх знешкодження. Так, найбільше занепокоєння викликає „ерозія основоположних засад принципів недискримінації в міжнародній торгівлі”. Їх все більше витісняють „преференційні” зональні та двосторонні угоди. Внаслідок цього треті країни підлягають дискримінації, причому найбільші загрози виходять від розвинених країн, які застосовують протекціоністські заходи. З позицій реальної практики, справді двосторонні торговельні угоди вкрай неоднозначно впливають на розвиток конкуренції та справедливої торгівлі в межах світової спільноти. Особливе занепокоєння викликає той факт, що більшість угод укладається між вочевидь нерівноправними учасниками: з одного боку, це економічно розвинена країна або економічний блок, а з іншого, країна, що розвивається, або держава з перехідною економікою. В зазначеній вже доповіді П. Сазерленда ці викривлення міжнарод-

них торговельних потоків через формати митних союзів, спільних ринків, регіональної та двосторонньої зони вільної торгівлі були образно названі „клубом локшини”, що складається із „вузлів та ниток”. Потужні країни з ємними ринками (центри, вузли) укладають угоди вільної торгівлі з периферійними невеликими країнами („нитками”). Як правило, країни-„вузли” (США, ЄС, ЄАВТ) володіють більш потужним потенціалом у переговорному процесі із країнами-„нитками”, що часто призводить до односторонньої лібералізації у взаємній торгівлі, зокрема через рестриктивні правила визначення країни походження товарів. Таким чином, реалізація інтересів більш потужних учасників міжнародної торгівлі досягається через модернізацію існуючої практики торговельних взаємин країн світу, оминаючи громіздкі та часто безрезультативні перемовини в форматі СОТ. Ціна таких угод, які нерідко пов’язані із непростим вибором перед урядами країн, що розвиваються та країн з перехідною економікою часто виявляється вищою, ніж передбачалося. Такі угоди, що сприяють тимчасовим вигодам з огляду доступу до ринків та збільшення притоку прямих іноземних інвестицій з точки зору довгострокових перспектив, можуть обмежувати дії урядів, зокрема щодо підвищення конкурентоспроможності національних галузей. Наразі Україна має підписаними 14 регіональних торговельних угод [8], причому 4 із них ( Грузія, Вірменія, Киргизстан, Македонія, Молдова) було укладено із членами СОТ, інші – із країнами за межами глобального торговельного клубу. Ці аспекти асиметричних наслідків для країн-учасниць при укладанні угод про зони вільної торгівлі для сучасної України мають велике значення, оскільки нині більше домінують ейфорійні настрої щодо перспектив такої угоди з ЄС. Як показує міжнародна практика, не менш чутливі до встановлення більш сприятливого режиму торговельної співпраці країни з іншою країною чи блоком ті торговельні партнери, які лишаються за межами цієї угоди, а в нашому випадку це близько двох третин вітчизняного експорту.

Вказуючи на достатньо стримані успіхи України щодо про європейського просування, відзначимо, що з огляду на це суттєвого перегляду потребує позиція України щодо потенціалу та перспектив розвитку співробітництва в форматі СНД/СЄП. На тлі певних надмірних очікувань щодо європейської перспективи України, особливо після подій 2004 року, виникло невинувато упереджене ставлення до розвитку економічних взаємин по східноєвропейському вектору. Разом з тим, не варто забувати про очевидні факти: близько 30% вітчизняного експорту знаходить свою реалізацію на ринках країн СНД і майже 50% імпорту надходить від торговельних партнерів зазначеного економічного блоку. Тому налагодження та розвиток ефективної співпраці по цьому напрямі зовнішньоекономічної діяльності України є важливим національним пріоритетом сучасної України, що визначає її подальші успіхи на регіональних та міжнародних ринках.

Безумовно, СНД як міжнародна організація потребує суттєвої модернізації, вилучення різного роду ідеологічних нашарувань, які стримують та ускладнюють її подальший розвиток. Низьку ефективність співпраці в форматі СНД багато експертів пояснюють вихідними передумовами створення самої організації, адже світова історія практично не має прикладів успішної інтеграції країн, що об’єдналися на тлі дезінтеграційних тенденцій. В цьому сенсі варто, на наш погляд, згадати досвід Співдружності націй, яка до 1946 року називалася Британським співтовариством. Ця організація виникла фактично на руїнах британської колоніальної імперії, причому колишня метрополія відіграла та відіграє і понині в ній стимулюючу та координуючу роль. Якщо на першому етапі свого існування Співдружність націй виконувала функції свого роду гаранта „цивілізованого розлучення” колишніх колоній з метрополією, то в перебігу подальшого історичного розвитку вона почала виконувати не менш важливу роль гармонізації національних інтересів країн-учасниць через механізми політичної, економічної, правової взаємодії. Організація, яка охоплює нині 53 країни світу, набула навіть більшого значення для колишніх колоній, ніж самої метрополії. Можливість бути почутим всіма членами спільноти, наявність близької правової, парламентської та освітньої систем забезпечують надійні стимули для подальшого розвитку організації. Майже за шести-десятилітню історію свого існування Співдружність націй втратила лише одного свого члена (Зімбабве) внаслідок узгодженого рішення всіх членів організації.

Повертаючись до новітнього стану розвитку інтеграційних процесів на пострадянських теренах, зазначимо, що модернізація взаємин в форматі СНД безумовно має відбуватися, адже зазначений міжнародний досвід все ж таки засвідчує реальні можливості налагодження економічної взаємодії між учасниками колись цілісної „імперії”.

До першочергових пріоритетних напрямів, які вже нині здатні активізувати економічне співробітництво між країнами – учасницями СНД, варто віднести:

- створення повноцінної зони вільної торгівлі без вилучень та обмежень;
- створення міжнародної контрольно-арбітражної інституції, що унеможливує або обмежує застосування заходів нетарифного характеру щодо імпорту країн-учасниць;
- лібералізація правил підприємницької діяльності для нерезидентів із країн СНД;
- розвиток систем соціальних гарантій громадян країн СНД;
- оптимізація механізму обміну статистичною інформацією між країнами-членами.

Угода про створення зони вільної торгівлі була підписана ще в 1994 році [9], але Росія в різний період запроваджувала різного роду обмеження на українські товари (металопрокат, молочна продукція, спирт тощо). Наразі торговельні відносини характе-

ризуються лібералізацією лише по окремих товарних позиціях, що безумовно не відповідає інтересам як одної, так і іншої сторони. Просування в напрямі економічної взаємодії має супроводжуватися також розвитком системи соціальних гарантій громадян країн СНД. Мова йде про отримання пенсій тими, хто працював в одній республіці, а нині проживає в іншій, про спрощення процедур працевлаштування. Ці питання є надзвичайно актуальними для України, Киргизії, Молдови, що забезпечують Росію трудовими ресурсами, які не мають належного правового, соціального, економічного захисту в країні-прийому, забезпечуючи при цьому її економічний розвиток.

Вирішення зазначених завдань дозволило б не лише підняти на новий більш якісний рівень взаємну співпрацю, але й забезпечили б реалізацію національних інтересів країн-учасниць через механізми цієї співпраці.

#### Список літератури

1. Філіпенко А. Інтеграційні перспективи: бігравітаційна модель // Економіка України. – 2005. – № 6. – С. 35-45.

2. <http://ec.europa.eu/delegations/ukraine> – сайт Представництва Європейської Комісії в Україні.

3. Критерії членства в СОТ, ЄС та НАТО: Інтеграційні перспективи України: аналіт. дослідж. / В.Р. Сіденко, І.І. Жовква, Г.М. Немиря, Г.М. Перепелиця; голов. ред. І.І. Жовква; Ін-т Євро-Атлантич. співробітництва. – Вид. 3-є, допов. та перероб. – К., 2007. – 450 с.

4. Сандул І. Потерянные миллионы // Корреспондент. – 2009. – № 24.

5. Пятницький В.Т. Інституціональні та процедурні механізми системи ГАТТ/СОТ у регулюванні світової торгівлі: Монографія. – К., 2000.

6. Майорова І.М. Вплив наслідків вступу України до СОТ та розвиток її відносин з ЄС // Зовнішня торгівля: право та економіка. – 2007. – № 4. – С. 104-109.

7. The Future of WTO -[www.wto.org](http://www.wto.org)

8. Горюнов Д. Параллельное торговое измерение // Эксперт Украина. – 2009. – № 27.

9. Соглашение о создании зоны свободной торговли от 15 апреля 1994 года – [www.cis.minsk.by](http://www.cis.minsk.by) – сайт Исполнительного комитета СНГ.

*Рекомендовано до публікації д.е.н. В.В. Юхименком 21.09.09*

УДК 334.726

**В.В. Тронько**

### РОЗВИТОК РИНКУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ ПОСЛУГ: СВІТОВІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ВІТЧИЗНЯНА ПРАКТИКА

Розглянуто сучасні тенденції розвитку одного з найбільш динамічних сегментів світового та вітчизняного ринку – сфери телекомунікаційних послуг. Виявлено особливості регіональної та секторальної динаміки ринку. Обґрунтовано тезу щодо впливу процесів транснаціоналізації та інституціональних обмежень на розвиток сучасного ринку телекомунікаційних послуг в Україні.

Рассмотрены современные тенденции развития одного из наиболее динамических сегментов мирового и отечественного рынков – сферы телекоммуникационных услуг. Показаны особенности региональной и секторальной динамики рынка. Обоснован тезис касательно влияния процессов транснационализации и институциональных ограничений на развитие современного рынка телекоммуникационных услуг в Украине.

Modern tendencies of one of the most dynamic segments development in the world and national market, the telecommunication services sphere, are reviewed in the article. It is outlined the features of the market's regional and sector dynamics. Thesis concerning influence of transnationalization and institutional restrictions for modern Ukrainian telecommunication services market development is substantiated.

Вирішення таких стратегічних завдань інноваційного розвитку, як збільшення частки високотехнологічних і наукоємних галузей в структурі ВВП та активізація науково-технологічного оновлення в усіх сферах виробництва безпосередньо обумовлено створенням проривних технологій, їхнім ефективним поширенням і масштабами використання. Так, нині вирішальний внесок в економіку розвинутих країн вносять технології п'ятого технологічного укладу (який триває з 1980-1990 до 2030-2040 років). Його ядро становлять електронна промисло-

вість, обчислювальна, оптиковолоконна техніка, програмне забезпечення, телекомунікації, роботобудівництво, виробництво і переробка газу, інформаційні послуги. Одночасно для вдосконалення діючих технологій і подальшої інтелектуалізації продуктивних сил дедалі ширше фінансуються науково-технічні розробки й пошук технологій новітнього шостого технологічного укладу (з 2030-2040 до 2080-2090 років), найбільш ймовірними ключовими складовими якого стануть біотехнології, системи штучного інтелекту, глобальні інформаційні та те-

лекомунікаційні мережі й інтегровані високошвидкісні транспортні системи [1, с. 61-63].

Україна не стоїть осторонь міжнародних інноваційних процесів. Ринок телекомунікаційних послуг як одна із важливих складових інноваційної економіки демонструє високі темпи зростання, що випереджають темпи зростання економіки в цілому: частка галузі «Зв'язок» в структурі ВВП постійно збільшується. За даними Держкомстату вона зросла у 2005-2007 роках з 3,1 до 6,5%. Особливого прискорення набувають послуги по окремих сегментах зазначеного ринку. Темпи зростання послуг мобільного зв'язку та Інтернет-послуг красномовно засвідчують, що роль цього сектора в економіці України неухильно зростає.

Особливістю розвитку цієї стратегічно важливої сфери в Україні є те, що значною часткою в наданні інформаційних та телекомунікаційних послуг володіють зарубіжні компанії, зокрема, ТНК. Разом з тим, варто зазначити, що ця галузь зазнає надзвичайно серйозної регламентації з боку держави, оскільки вона тісно пов'язана з питаннями захисту інформації, економічної безпеки, інноваційного розвитку. Розвиток вітчизняних компаній у сфері надання телекомунікаційних послуг призведе, на наше переконання, до формування передумов для активізації розвитку технологій п'ятого та шостого технологічних укладів, а відтак до поступового відходу від традиційної для України сировинно-добувної спеціалізації в системі міжнародного поділу праці.

Вплив міжнародних чинників на економічний, зокрема інноваційний розвиток національних економік та суб'єктів їх господарювання, вже тривалий час залишається предметом наукових дискусій та досліджень. Серед наукових розробок зазначеного спрямування варто виділити праці таких зарубіжних вчених, як А. Бранденбургера, П. Кругмана, М. Портера. В центрі досліджень Й. Шумпетера, С. Глазьева, А. Нагаєва, Л. Канторовича, К. Фрімена знаходилися і знаходяться проблеми пошуку джерел та механізмів формування інноваційного середовища, впливу інновацій на господарський розвиток та його обумовленість новітнім інформаційно-інноваційним забезпеченням. Основні методологічні засади теорії постіндустріального суспільства У. Ростоу, А. Фішера, К. Кларка отримали свій подальший розвиток в роботах Д. Белла, В. Іноземцева. Формування інноваційної моделі економічного розвитку сучасної України в умовах активного входження в міжнародні економічні взаємини із зовнішнім світом отримали розкриття в розробках вітчизняних науковців Л. Антонюка, В. Геєця, А. Гальчинського, Г. Климка, Б. Кваснюка, Д. Лук'яненка, Ю. Пахомова, В. Новицького, А. Філіпенка та інших. Разом з тим, потребує суттєвого розвитку такий перспективний напрямок дослідження в окресленій проблематиці, як аналіз галузевих аспектів розвитку інноваційно-інформаційного потенціалу національної економіки в умовах загострення міжнародної конкуренції та функціонування України як члена СOT. З огляду на

зазначене, аналіз передумов та тенденцій розвитку телекомунікаційної галузі в Україні, як одного із рушіїв її інноваційно-інвестиційної модернізації, є актуальним та таким, що має як теоретичне, так і практичне значення.

Метою даної статті є дослідження:

– тенденцій розвитку вітчизняного ринку телекомунікаційних послуг, їх відповідність світовим процесам;

– оцінка конкурентної структури ринку з огляду його розподілу між провідними операторами;

– визначення впливу інституційних детермінант на умови функціонування зазначеного сегмента вітчизняного ринку.

Аналіз особливостей розвитку вітчизняного ринку телекомунікаційних послуг не можна відділити від дослідження світових тенденцій та закономірностей.

На сьогодні розвиток світового ринку зв'язку супроводжується широкомасштабним географічним перерозподілом доходів від продажу телекомунікаційних послуг. Наявні дані демонструють різницю в темпах зростання регіональних ринків галузі. Якщо в 2005 році лідером за показником доходів від надання телекомунікаційних послуг був регіон, що охоплював Європу, Близький Схід та Африку (його частка складала за оцінкою експертів ЮНКТАД близько 34,2%), за ним йшли Північна Америка (32,2%) та азійсько-тихоокеанський регіон (27%), то за прогнозом фахівців зазначеної міжнародної організації вже в 2010 році частки цих регіонів у формуванні доходів будуть приблизно однакові [2]. Це свідчить про те, що вже нині закладаються підвалини для посилення ролі тих регіонів, які донедавна розглядалися як світова периферія та були вилучені із міжнародного інноваційного розвитку. З огляду перспективи можна зі значною часткою впевненості прогнозувати бурхливий розвиток в галузі телекомунікаційних послуг саме на ринках країн, що розвиваються, та держав з перехідною економікою [3].

За даними Центру медіатехнологій (ЦМТ), світовими лідерами в галузі експорту і виробництва телекомунікаційного обладнання є десять країн: США, Японія, Німеччина, Велика Британія, Швеція, Сингапур, Франція, Китай, Південна Корея і Канада.

Список основних експортерів обладнання майже збігається зі списком основних імпортерів [4].

Розвиток стільникової телефонії набуває все більшої популярності в світі, і в першу чергу у розвинутих країнах. За даними компанії «Еріксон» (США), у середньому в світі за один рік кількість абонентів стільникового зв'язку зростає в середньому на 27%.

Найбільша кількість абонентів характерна для Північної Америки (60 млн. чол.), Західної Європи (57 млн. чол.), Азії та АТР (40 млн. чол.), Японії (29 млн.чол.), Латинської Америки (13 млн. чол.). За прогнозами «Lucent Technologies / Laboratory Bell, USA», до 2010 р. кількість абонентів телефонних ліній перевищить кількість абонентів кабельних мереж [5].

Таблиця 1  
Світові експортери телекомунікаційного обладнання (ТО), 2007

Країна	Обсяг експорту ТО, млн. дол.	Частка експорту ТО в загальному експорті країни, %
ЄС	195636	4,3
Канада	8680	2,2
Китай	123615	12,8
Південна Корея	37300	11,5
Сингапур	17968	6,6
США	34562	3,3

Таблиця 2  
Світові імпортери телекомунікаційного обладнання, 2007

Країна	Обсяг імпорту ТО, млн. дол.	Частка імпорту ТО в загальному імпорті країни, %
ЄС	230881	4,9
Канада	12740	3,6
Китай	35534	4,5
Південна Корея	7538	2,4
Сингапур	16209	6,8
США	117054	6,1

Також популярною технологією на ринку телекомунікацій, особливо в азієських країнах, є пейджинг. Ще одним лідером ринку телекомунікацій є інтегрована мережа передачі даних. Як у випадку із стільниковою телефонією, розповсюдження послуг ISDN відображає загальний рівень розвитку ринку сучасних телекомунікаційних технологій.

Обсяги ринку телекомунікацій мають експоненційне зростання, однак лише в індустріальних країнах. Проте вони недостатньо розвинені в інших частинах світу. Крім того, існують різкі диспропорції в доступності до телекомунікаційних послуг (навіть традиційних) між розвиненими країнами і тими, що розвиваються.

Всередині великих регіонів також існує значна відмінність динаміки зростання окремих національних ринків. Наприклад, ринок Японії в певній мірі вичерпав потенціал до свого зростання, оскільки характеризується високим рівнем технологічного розвитку та насиченням сучасними видами зв'язку, при цьому його вартісні показники фактично не змінюються. У той же час, ринки Індії та Китаю мають значний потенціал ємності, активно зростають. Це також свідчить про нагальну потребу переорієнтації діяльності ТНК, які є рушіями розвитку галузі телекомунікаційних послуг на нові ринки та регіони.

Сьогодні телекомунікації – один із найважливіших сегментів світового та регіональних ринків інформаційних технологій. Вони включають як кабельну, так і безпроводну телефонію, різні види мобіль-

ного зв'язку (стільникова, пейджингова, GPRS), передавання голосу та даних, інтегровані мережі передачі даних (ISDN), які забезпечують високу якість та швидкість передачі інформації. Згідно з даними Міжнародного телекомунікаційного союзу (ITU) загальносвітові інвестиції в телекомунікації складають 3,161 млрд. дол., у той час як загальний дохід операторів ринку ІТ склав у 2007 році, за оцінками експертів, близько 1,49 трлн. дол. [6].

За останнє п'ятиріччя у відносно короткі строки відбулись докорінні технологічні, організаційно-правові та економічні зміни, що впливають на структуру та динаміку світового ринку телекомунікаційних послуг. Перехід галузі на якісно новий рівень, обумовлений впровадженням цифрових технологій, розширенням спектру можливостей та послуг зв'язку ще потребує якісного аналізу цих процесів.

Протягом 2005-2008 рр. сектор телекомунікацій в Україні був одним з тих, що демонстрував найбільші темпи зростання прибутків (до 40% на рік). Розрив з розвитком відповідного сектора Європи скоротився приблизно у 7 разів для сектора мобільних послуг, у 4 рази для Інтернет-послуг та майже не змінився з надання стаціонарного телефонного зв'язку [7, с. 56- 61].

За прогнозами аналітиків, загальний випуск у галузі телекомунікацій зросте додатково на 8% у довгостроковому періоді завдяки вступу України до СОТ [8], переважно через скасування перешкод для прямих іноземних інвестицій.

Україна зробила важливі, хоча й недостатні, кроки впродовж кінця дев'яностих років щодо удосконалення базової телекомунікаційної інфраструктури (табл. 3).

Таблиця 3  
Індикатори структурних реформ в інфраструктурних секторах: міжнародні порівняння, 2007 [9]

Країна	Електроенергетика	Залізничний транспорт	Телекомунікації
Україна/ІЕД	2,58	1,79	2,53
Україна/ЄБРР	3,0	2,0	2,7
Болгарія	3,7	3,3	3,7
Казахстан	3,3	3	3,0
Литва	3,3	2,3	3,7
Польща	3,3	4,0	4,0
Румунія	3,7	4,0	3,3
Росія	3,0	3,0	3,0

Примітка: Україна / ІЕД – оцінка Інституту економічних досліджень. Україна / ЄБРР – оцінка Європейського банку реконструкції та розвитку.

Високі темпи зростання та потенціал ринку приваблюють в Україну значну кількість іноземних телекомунікаційних компаній, хоча обмеження законодавства країни стримують повноцінний розвиток цього ринку. Незважаючи на перешкоди, низький рівень пенетрації ринку говорить про величезний прихований попит на телекомунікаційне обладнання та послуги в другому по величині рин-

ку Інформаційної служби мережі (NIS). На противагу міжнародним тенденціям, доходи від ринку телекомунікацій в Україні складаються переважно за двома напрямками: торгівля обладнанням та абонентська плата.

Розробки в галузі дротових та бездротових комунікацій з 1992 року роблять нині можливими більш удосконалені та складні телекомунікаційні послуги. Суттєві зрушення включають в себе завершення прокладання національної дротової мережі щодо цифрового обміну інформацією на велику відстань 24 години на добу ще в 1996 році. Запуск трьох новітніх GSM 900 національних мереж в кінці 1997 року достатньо модернізував телекомунікаційну інфраструктуру країни [10].

Протягом останніх декількох років галузь зв'язку в Україні демонструє високі темпи зростання. Її частка в ВВП країни є стабільно високою та протягом останніх років складає близько 6%. Темпи росту доходів від надання послуг зв'язку протягом 2003-2007 років знаходились на рівні 20-30% та випереджали темпи росту більшості галузей економіки. Всього в 2007 році користувачам реалізовано послуг зв'язку на суму 7,9 млрд. дол., у тому числі населенню – на 3,2 млрд. дол., що порівняно з обсягами 2006 року більше відповідно на 19 та 21% [11].

Як послуги мобільного зв'язку, так і послуги по передачі даних у 2007 році забезпечили суттєвий приріст доходів на рівні 27%, на відміну від сегменту фіксованого зв'язку, котрий продемонстрував зростання за той же період в 4%. Згідно з даними Держкомстату України станом на 2008 рік рівень забезпечення сімей стаціонарними телефонами досяг 60%. Проникнення фіксованого зв'язку коливається залежно від розміру населеного пункту та знаходиться на рівні 67-70% у містах та приблизно 32% у селах. 26% населення України старше 16 років користується тільки мобільним зв'язком, 15% – тільки фіксованим. Послугами фіксованого та мобільного зв'язку одночасно користується 38% населення, а 21% населення – послугами телефонії не користується [12].

Таблиця 4

Показники розвитку ринку мобільного зв'язку в Україні станом на 2007 рік

	31.12.2007	30.12.2006
Кількість абонентів, млн.	55,58	49,21
Населення, млн.	46,40	46,80
Рівень penetрації, %	119,8	105,1
Чисті підключення, млн.	6,38	19,0
Зростання абонентської бази, %	12,9	63,1

Станом на 1 січня 2008 року в Україні нараховувалось 55,58 млн. абонентів мобільного зв'язку, що майже на 13% більше по відношенню до аналогічних

показників 2006 року. Таким чином, темпи приросту абонентської бази в 2007 році суттєво знизились по відношенню до показників 2006 року – 63,1% та по відношенню до 2005 – 117%. Сукупна абонентська база за січень-грудень 2007 року збільшилась на 6,38 млн. користувачів, тоді як протягом 2006 року – на 19 мільйонів [13].

Монополістом на ринку фіксованого зв'язку України є «Укртелеком», який займає 78,5% ринку фіксованого телефонного зв'язку, обслуговуючи понад 10 млн. абонентів. Компанія несуттєво збільшила обсяг продажу в 2007 році по відношенню до 2006-го – на 1,6%, а також скоротила чистий прибуток майже на 43%. Місцевий, міжміський та міжнародний зв'язок генерує більше 80% виручки оператора, але утримування цих секторів стає з кожним роком все дорожче. При цьому операторові належить більше 22% широкополосної передачі даних, але надходження від послуг передачі даних в загальній структурі доходу компанії складають лише 4%. «Укртелеком» є включеним у список об'єктів на приватизацію як у 2008, так і 2009 році.

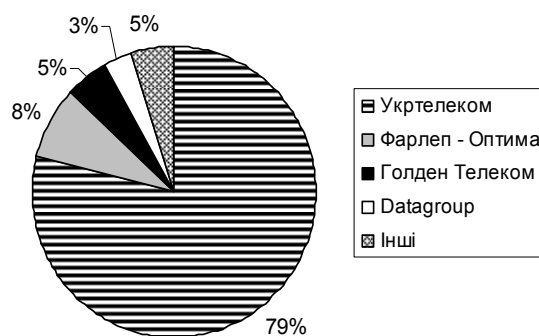


Рис. 1. Розподіл ринку телекомунікаційних послуг між операторами фіксованого зв'язку України, 2007 [14]

Компанією були інвестовані суттєві ресурси в 3G-проект Utel. Зараз «Укртелеком» є єдиним власником ліцензії на 3G-зв'язок. У 2008 році компанія уклала угоду з «Київстар GSM» та «Українськими радіосистемами» про послуги роумінгу, які передбачають високошвидкісну передачу даних. Альтернативною 3G-зв'язку може стати високошвидкісна технологія WiMAX, яка відноситься до сімейства ранніх стандартів четвертого покоління. На даний момент будівництвом відповідних мереж займається близька до СКМ компанія «ММДС – Україна» та дочірня структура «Голден Телекома» «ЕС-лайн».

Якщо ж проаналізувати розподіл ринку стільникового зв'язку, то результати вказують на користь міжнародних компаній, які діють в багатьох країнах світу та розглядають ринок України як достатньо перспективне та динамічно зростаюче середовище для подальшої транснаціоналізації їх діяльності. «Київстар GSM» забезпечує покриття території, на якій проживає 99% населення України, охоплюючи мережею всі міста, більшість населених пунктів, всі осно-

вні національні та регіональні траси, більшість морських та річних узбережж України. 43,5% акцій «Київстар GSM» належить російській «Альфа-груп», 56,5% – норвезькій Telenor. Компанія працює під брендами «Київстар», djuice та «Мобілич».

Компанія «Мобільні ТелеСистеми» (Російська Федерація), мережа операторів якої охоплює понад 95% території України, де проживає 99% населення. Компанія представляє бренди МТС та Jeans.

«Астеліт» працює на українському ринку з початку 2005 року. Компанія надає послуги під брендом life:) на території, на якій проживає 91% населення України. Мережа компаній сьогодні працює у всіх містах з населенням понад 35% тис. чол. та більше ніж в 22 тис. інших населених пунктів, а також на всіх основних автомагістралях країни.

Єдиним власником компанії є Euroasia Telecommunications holdings B.V. (Нідерланди), 54,8% акцій якої належать турецькій компанії Turkcell, 45,2% – компанії «Систем Кепітал Менеджмент».

«Українські радіосистеми» – дочірня компанія «Вимпелкома» (Російська Федерація) – надає послуги мобільного зв'язку під торговою маркою Beeline з квітня 2006 року. Мобільна мережа всієї компанії покриває територію, на якій мешкає 86% населення України.

Експертна оцінка потенціального обсягу українського ринку телекомунікаційних послуг з використанням IP-технологій визначається у розмірі 2,4-2,8 млрд. дол. на рік. Прогнозується подальше прискорення темпів росту даного сегменту в 3-5 разів до кінця 2010 року.

За різними оцінками на кінець 2008 року розмір аудиторії українського сегменту мережі Інтернет по кількості унікальних користувачів, які продивились не менше 1 сторінки за місяць, досяг 6,2-6,4 млн. чол. або 13,3-13,8% від загальної чисельності населення. Показники 2009 року вказують ще на більш значні масштаби залучення жителів нашої країни до використання Інтернет-технологій – понад 7 млн. чол. [15]. Лідером серед регіонів України є м. Київ, де Інтернетом користується до 58% населення.

Вказуючи на тенденції розвитку вітчизняного ринку телекомунікаційних послуг, варто відмітити те, що його не оминули процеси глобальної консолідації. Особливо яскраво це проявилось на тлі світової фінансової кризи 2007-2009 рр. Це відбиває процес загострення міжнародної конкуренції в цій галузі та свідчить про перспективи її подальшої реструктуризації. При цьому зазначимо, що дана тенденція характерна не тільки для самих компаній, що діють на ринку телекомунікаційних послуг, але й для схожих послуг та товарів, об'єднаних під однією торговою маркою. Варто виділити два великих фіксовано-мобільних тандеми. В першу чергу, це альянс «Астеліта» та «Фарлеп – Оптіма», які мають спільного національного інвестора в особі «Систем Кепітал Менеджмент». По-друге, реальністю в 2009 році став тандем «Українських радіосистем» та «Голден Телекому» [15], який прослідковував за злит-

тям російських материнських компаній цих операторів [14].

Безумовно, міжнародні детермінанти суттєво впливають на кількісні та якісні показники діяльності ринку телекомунікаційних послуг в Україні. Разом з тим, не менш вагомою є роль інституційних чинників, які здатні коригувати діяльність операторів ринку, впливати на її прибутковість та перспективи розвитку. Робота телекомунікаційних компаній досить жорстко регламентується з боку держави. Чинний закон «Про телекомунікації» було введено в дію в січні 2004 року, його зміст є багато в чому компромісним і враховує рекомендації ЄС щодо шляхів розвитку цієї галузі зв'язку в Україні. Із січня 2005 року відповідно до закону стала діяти Національна комісія з регулювання зв'язку (НКРЗ).

Нині до функцій НКРЗ належать видача ліцензій і дозволів на користування обмеженим радіочастотним та номерним ресурсами, створення умов для задоволення попиту населення на послуги зв'язку, нагляд за дотриманням законодавства учасниками ринку телекомунікаційних послуг і поштового зв'язку та повноваження застосовувати санкції до порушників.

Фактично, ні один оператор не може функціонувати на території України, не отримавши дозвіл від НКРЗ. Не менш важливим є те, що тарифи на використання радіочастот операторами встановлюються й регламентується виключно НКРЗ.

Аналіз новітніх тенденцій розвитку ринку телекомунікаційних послуг в Україні, оцінка конкурентної структури ринку та інституційних засад його функціонування дозволяють дійти наступних висновків:

- телекомунікаційний ринок України є таким, що продовжує розвиватися, попри світову кризу та зниження доходів населення, він має величезний потенціал. Він продовжує бути одним із високоприбуткових ринків, що викликає притік коштів як вітчизняних, так і іноземних інвесторів в особі транснаціональних компаній;

- вказуючи на тенденції розвитку вітчизняного ринку телекомунікаційних послуг, варто відмітити те, що його не оминули процеси глобальної консолідації. Це відбиває процес загострення міжнародної конкуренції в цій галузі в докризовий та кризовий періоди та свідчить про перспективи подальшої реструктуризації цієї сфери;

- виділяючи провідних національних та зарубіжних операторів в галузі зв'язку в Україні, зазначимо, що якщо фіксований зв'язок знаходиться під контролем національної компанії-монополіста «Укртелекому», то мобільний представлений такими великими операторами із лівовою часткою іноземної власності, як «Київстар», «МТС», «life:»);

- аналіз діяльності в галузі показав, що істотним інституційним чинником, який впливає на національний ринок телекомунікаційних послуг, є Національна комісія з регулювання зв'язку, яка досить жорстко регламентує діяльність телекомунікаційних компаній на території України шляхом встановлення тарифів на використання радіочастот операторами та



провайдерами, надаючи ліцензії та дозволи на їх функціонування.

**Список літератури**

1. Гава Ю. Роль сучасних технологій в економіці // Економіст. – 2006. – № 6. – С. 61-63.
2. [http://unctad.org/en/docs/wir2007\\_en.pdf](http://unctad.org/en/docs/wir2007_en.pdf)
3. International Trade Statistics Tearbook // New York. 2007. – Vol. 2.
4. [http://www.wto.org/english/res\\_e/statis\\_e/its2007\\_e/its07\\_merch\\_trade\\_product\\_e.htm](http://www.wto.org/english/res_e/statis_e/its2007_e/its07_merch_trade_product_e.htm)
5. [http://www.unctad.org/en/docs/wir2007p1\\_en.pdf](http://www.unctad.org/en/docs/wir2007p1_en.pdf)
6. [http://www.itu.int/aboutitu/annual\\_report/2007/](http://www.itu.int/aboutitu/annual_report/2007/)
7. Гарнавська Н. Інноваційне забезпечення конкурентоспроможності суб'єктів господарювання України // Економіст. – 2007. – № 10. – С. 56-61.

8. [http://www.wto.int/english/tratop\\_e/serv\\_e/telecom\\_e/sym\\_feb08\\_e/sym\\_feb08\\_e.htm](http://www.wto.int/english/tratop_e/serv_e/telecom_e/sym_feb08_e/sym_feb08_e.htm)
9. Бураковський І. Економічне зростання та інфраструктурні гальма // Дзеркало тижня. – 2008. – № 4.
10. <http://www.dt.ua/2000/2675/61157/>
11. <http://www.hottelecoms.com/cp-article-july2007.htm>
12. <http://www.e-mkg.info/?post=tenders&id=466>
13. [http://www.iks-consulting.ru/ir\\_ukr\\_itog\\_07.php](http://www.iks-consulting.ru/ir_ukr_itog_07.php)
14. [http://www.ufc-capital.com/equitybook/rus/ufc\\_sector\\_telecom\\_rus.pdf](http://www.ufc-capital.com/equitybook/rus/ufc_sector_telecom_rus.pdf)
15. Благонравин М. Широкая белая полоса // Эксперт Украины. – 2009. – № 34(225). – С. 21.

*Рекомендовано до публікації д.е.н. В.В. Юхименком 21.09.09*

- Біліченко Юрій Миколайович доцент кафедри метрології та інформаційно-вимірювальних технологій НГУ, к.т.н.
- Богданов Володимир Костянтинович доцент кафедри екології НГУ, к.м.н.
- Бондаренко Микола Олександрович завідувач науково-технологічного центру бурового інструмента ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України, д.т.н.
- Денищенко Олександр Валерійович доцент кафедри транспортних систем і технологій НГУ, к.т.н.
- Додатко Олександр Дмитрович професор кафедри загальної і структурної геології НГУ, д.г.-м.н.
- Жушман Володимир Михайлович інженер науково-дослідного відділу ДП “УкрНДППромтехнології”
- Іконніков Максим Юрійович асистент кафедри аерології та охорони праці НГУ
- Карпенко Борис Васильович начальник сектору щодо поводження із радіоактивними відходами та радіаційної безпеки і вентиляції ДП “УкрНДППромтехнології”
- Кічурчак Василь Михайлович провідний геолог ДГЕ “Дніпрогеофізика”, к.г.-м.н.
- Ковалевська Ірина Анатоліївна професор кафедри ПРП НГУ, д.т.н.
- Коваленко Валентин Юрійович провідний геолог ДГЕ “Дніпрогеофізика”
- Козакова Вікторія Василівна студентка НГУ
- Корнієнко Валерій Іванович докторант кафедри електроніки та обчислювальної техніки, к.т.н.
- Коростишевський Дмитро Леонідович молодший науковий співробітник ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України
- Кроїк Ганна Аркадіївна завідувач лабораторії геоєкології НДІ геології ДНУ ім. О. Гончара
- Кудирко Людмила Петрівна доцент кафедри міжнародної економіки Київського національного торговельно-економічного університету, к.е.н.
- Кузьмінов Костянтин Володимирович старший викладач Марганецького коледжу НГУ, к.т.н.
- Курносів Сергій Анатолійович старший науковий співробітник ІГТМ НАН України, к.т.н.
- Лебедєв Яков Якович доцент кафедри аерології та охорони праці НГУ, к.т.н.
- Ляшенко Василь Іванович начальник науково-дослідного відділу ДП “УкрНДППромтехнології”, старший науковий співробітник, к.т.н.
- Мазницька Оксана Вікторівна доцент Кременчуцького університету економіки, інформаційних технологій і управління, к.т.н.
- Мечник Володимир Аркадійович старший науковий співробітник ІНМ ім. В.М. Бакуля НАНУ, к.т.н.
- Наумович Олександр Володимирович гірничий інженер
- Новікова Олена Олександрівна аспірантка кафедри аерології та охорони праці НГУ
- Павленко Ірина Ігорівна завідувач кафедри зовнішньоекономічної діяльності НГУ, професор, д.е.н.
- Павличенко Артем Володимирович доцент кафедри екології НГУ, к.б.н.
- Пігулевський Петро Гнатович доцент кафедри геофізики НГУ, к.г.н.
- Радюк Максим Валерійович аспірант кафедри гірничої механіки НГУ
- Слащов Ігор Миколайович науковий співробітник ІГТМ НАН України, к.т.н.
- Слащова Олена Анатоліївна старший науковий співробітник ІГТМ НАН України, к.т.н.
- Снадчук Геннадій Сергійович студент НГУ
- Соболев Валерій Вікторович професор кафедри будівництва і геомеханіки НГУ, д.т.н.
- Супрун Михайло Вікторович молодший науковий співробітник ІНМ ім. В.М. Бакуля НАН України
- Таран Ігор Олександрович завідувач кафедри управління на транспорті НГУ, доцент, к.т.н.
- Терещук Роман Миколайович доцент кафедри будівництва і геомеханіки НГУ, к.т.н.
- Трощак Віра Володимирівна аспірантка Київського національного торговельно-економічного університету
- Тяпкін Олег Костянтинович доцент кафедри геофізичних методів розвідки НГУ, к.г.-м.н.
- Філімонов Павло Євгенович генеральний директор АП “Шахта ім. А.Ф. Засядька”
- Хруцький Андрій Олександрович старший викладач кафедри гірничих машин і обладнання КТУ
- Цикра Олександр Анатолійович заступник генерального директора АП “Шахта ім. А.Ф. Засядька”
- Шиман Леонід Миколайович генеральний директор ДП «НВО “Павлоградський хімічний завод”», к.т.н.

## З М І С Т

<b>Наумович А.В., Терещук Р.Н.</b> Исследование устойчивости подготовительных выработок глубоких горизонтов вне зоны влияния очистных работ .....	3
<b>Бондаренко М.О., Мечник В.А., Супрун М.В., Коростишевський Д.Л.</b> Особливості твердофазного та рідкофазного спікання алмазовмісних матеріалів для породоруйнівних інструментів .....	6
<b>Ковалевская И.А.</b> Методология разработки метода расчета перемещений контура рамной крепи пластовой выработки .....	13
<b>Шиман Л.Н., Соболев В.В.</b> Исследование некоторых свойств эмульсий с добавками воды, использованной в процессе гидроразмыва твердого ракетного топлива .....	17
<b>Слащев И.Н., Курносое С.А., Слащева Е.А., Иконников М.Ю., Филимонов П.Е., Цикра А.А.</b> Практический опыт повышения эффективности угледобычи и безопасности труда в сложных горно-геологических условиях .....	20
<b>Пігулевський П.Г., Кічурчак В.М., Коваленко В.Ю., Додатко О.Д.</b> Стан питання по проблемі досліджень алмазоносності південно-східної частини Українського щита .....	26
<b>Тяпкин О.К.</b> Использование геолого-геофизических данных при планировании региональной застройки .....	33
<b>Хруцкий А.А.</b> Математическое моделирование процесса обтекания штыревой коронки сжатым воздухом при бурении в среде COSMOSFloWorks .....	38
<b>Радюк М.В.</b> Оценка энергетической эффективности когенерационной утилизации низкопотенциального тепла воздушных турбокомпрессоров .....	42
<b>Таран И.А.</b> Теоретические основы автоматизированного структурного синтеза и технология матричного моделирования трансмиссий .....	46
<b>Кузьминов К.В., Лебедев Я.Я., Новикова А.А.</b> Тепловая защита приводного барабана ленточного конвейера .....	53
<b>Биличенко Ю.Н., Денищенко А.В.</b> Дополнительная сила прижатия ведущих колес шахтного локомотива к рельсовому пути .....	56
<b>Корнієнко В.І.</b> Ієрархічне адаптивне керування процесами рудопідготовки за синергетичним принципом з інтелектуальним прогнозуванням .....	61
<b>Богданов В.К.</b> Техногенний вплив на мікробну флору пацієнтів із системним захворюванням .....	67
<b>Ляшенко В.И., Карпенко Б.В., Жушман В.Н.</b> Природоохранные технологии управления состоянием хвостохранилищ .....	69
<b>Мазницька О.В.</b> Вирішення проблеми утилізації відходів виробництва, що містять арсен .....	76
<b>Павличенко А.В., Кроїк Г.А.</b> Токсикологічні аспекти накопичення та розподілу важких металів у ґрунтах промислових агломерацій .....	79
<b>Павленко И.И., Снадчук Г.С.</b> Система выбора перспективных шахт для инвестирования и поддержания их мощности .....	83
<b>Козакова В.В.</b> Оцінка проблеми включення держав до інтеграційних процесів на основі використання міжнародних конкурентних переваг національних економік .....	86
<b>Кудирко Л.П.</b> Проблеми розвитку зовнішньоторговельних відносин України в розрізі міжнародних інтеграційних процесів .....	89
<b>Тронецько В.В.</b> Розвиток ринку телекомунікаційних послуг: світові тенденції та вітчизняна практика ... Відомості про авторів .....	93 99