

3. Шолох Н. В. Формирование качества полезного ископаемого и рудного сырья горнорудных предприятий / Н. В. Шолох, А. Л. Топчий // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, КНУ, 2014. – Вип. 97. – С. 26–30.
4. Адигамов Я. М., Мининг С. Э. Нормирование потерь полезных ископаемых при добыче руд. – М.: Недра, 1978.
5. Кузьмин В. И., Мининг С. Э., Редькин Г. М. Геометризация и рациональное использование недр. – М.: Недра, 1991.
6. Ржевский В. В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. Учебник, изд. 3, перераб. И доп. / В. В. Ржевский // – М.: Недра, 1980. – 631 с.
7. Мец Ю. С. Эффективный комплекс буровзрывных работ при отработке уступов увеличенной высоты / Ю. С. Мец, А. Ю. Антонов // Гірничий вісник. – Кривий Ріг, КНУ, 2014. – Вип. 97. – С. 7–11.
8. Исследование рыхлости карбонатных пород сейсмическими методами. – В кн.: промышленность нерудных и неметаллорудных материалов. М., ВНИИЭСМ, 1972, с. 7–12.
9. Методические указания по оценке механического состояния горных массивов с помощью упругих волн / В. В. Ржевский, О. П. Якобашвили, А. И. Цыкин и др. М., Сектор физико-технических горных проблем ИФЗ им. О. Ю. Шмидта, 1976.
10. Шапар А. Г. й ін. Ресурсозберігаючі технології видобутку корисних копалин на кар'єрах України. – К.: Наукова думка, 1998.
11. Виницкий К. Е. О ресурсосберегающих технологиях и комплексном освоении недр / Горные науки, промышленность. – М.: Недра, 1989.
12. Мининг С. Э., Мининг С. С. Об оценке стоимости запасов твердых полезных ископаемых // Горный журнал, 2002. – № 9. – С. 6–8.
13. Яковлев В. Л. Проблемы и перспективы развития открытых горных разработок // Проблемы геотехнологии и недроведения (Мельниковские чтения): Докл. международной конференции, 6-10 июля 1998 г. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – Т. 2.
14. Воловик В. П., Голярчук Н. И., Бельченко Е. Н. Современное состояние горно-обогатительных комбинатов Кривбасса и перспективы их развития / Metallургическая и горнорудная промышленность, 2000. – № 4. – С. 59–61. – № 5. – С. 80–83.
15. Куделя А. Д. Комплексное использование минеральных ресурсов железорудных горнообогатительных комбинатов. – К.: Наукова думка, 1984.
16. Сидоренко В. Д. К вопросу повышения эффективности работы циклично-поточной технологии на кривокопанных карьерах / В. Д. Сидоренко, Е. А. Несмашный // Вісник Криворізького національного університету. – Кривий Ріг, КНУ, 2012. Вип. 33. – С. 8–12.

Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 622.272:004

М.В. НАЗАРЕНКО, д-р техн. наук, проф.,  
 Н.В. НАЗАРЕНКО, С.М. ШОЛОХ, кандидати техн. наук, доц.  
 Криворізький національний університет

## ДОДАТКОВА ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ АЛГОРИТМІВ ПЕРСПЕКТИВНОГО ПЛАНУВАННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ

**Мета.** Метою роботи є удосконалення методів перспективного планування роботи кар'єру, зокрема двовимірних методів Лерчса-Гроссмана визначення його оптимального контуру. Результатом роботи тільки алгоритму Лерчса-Гроссмана є множина оптимальних контурів у розрізах, які відрізняються за формою та глибиною розробки. Потрібно узгодити конфігурацію контурів у розрізах для коректної форми робочого простору кар'єру.

**Методи дослідження.** Після площинного алгоритму Лерчса-Гроссмана визначення оптимальних контурів на розрізах пропонується провести додаткову обчислювальну обробку методами відновлення пропуску даних. Проаналізована робота методів заповнення середніми значенням, підстановки, множинної лінійної регресії, Бартлетта, *Resampling*, *ZET*, *ZETBraind*. Пропонується результати роботи удосконалених алгоритмів приймати як альтернативи при виборі ефективного контуру кар'єру методами теорії прийняття рішень.

**Наукова новизна.** Перспективне планування роботи кар'єру розглядається як задача прийняття рішень, причому до відомих та впроваджених методів Лерчса-Гроссмана (мережевого та динамічного) потрібно додати моделювання робочої зони кар'єру за допомогою додаткових моделей відновлення пропуску даних, що призведе до збільшення ефективності відробки родовища.

**Практична значимість.** Отримані результати аналітичного моделювання дозволяють внести корективи до методології визначення граничних контурів кар'єрів, що надає можливість збільшити адаптивність отриманих результатів моделювання до проектних контурів. Проаналізовано методи відновлення пропусків даних можуть лягти в основу представлення задач перспективного планування на базі методології прийняття рішень як аналіз багатокритеріальних альтернатив, де в якості критеріїв використовується загальний грошовий потік, об'єм видобутої гірничої маси, коефіцієнт розкриття та інші гірничо-економічні показники.

**Результати.** Проведене моделювання показало можливість та доцільність використання для визначення гра-

ничних контурів кар'єра як об'ємного, так і площинного методу Лерчса-Гроссмана за умови подальшої узгодженості отриманих рекомендованих альтернатив. Для визначення найкращого кар'єру пропонується використовувати багатокритеріальний аналіз (наприклад, підхід аналітичної ієрархії), застосування якого дозволить сформулювати ваги критеріїв та на їх базі провести ранжування альтернатив і вибір найкращої з них.

**Ключові слова:** перспективне планування, кар'єр, алгоритм Лерчса-Гроссмана, відновлення пропуску даних, теорія прийняття рішень.

doi: 10.31721/2306-5435-2017-1-102-164-169

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Від ефективності роботи алгоритмів перспективного (стратегічного) планування залежатимуть техніко-економічні показники роботи залізородних кар'єрів. Зрозуміло, що даний етап планування дуже відповідальний, адже визначає напрямок відроблення покладу на декілька років. Крім того, слід встановити порядок вилучення ділянок кар'єру із часом. Головний фактор, що ускладнює роботу систем планування – імовірнісний характер залягання мінеральної сировини та експлуатації обладнання кар'єру, а також необхідність врахування різних за характером факторів впливу.

**Аналіз досліджень і публікацій.** До найбільш часто уживаних критеріїв оцінки варіантів перспективного планування належить загальний грошовий потік  $NPV$  [1,2]. На ньому ґрунтується робота більшості алгоритмів автоматизованого планування кінцевих контурів кар'єру, визначених на певний момент часу. При цьому в якості вихідного інформаційного масиву щодо опису власне родовища використовують блокову цифрову модель [3], створену засобами геоінформаційних систем [4]. Фактори технології та організації гірничих робіт, які при цьому враховують: розмір та розміщення переважувальних майданчиків при комбінованому забезпеченні транспортних робіт; розміщення збагачувальних фабрик; бортовий вміст та розподіл корисного компоненту за результатами розвідувального буріння; типи порід за міцністю та стійкістю, що впливає на кути нахилу бортів кар'єру; вимоги до гірничо-транспортного обладнання та транспортних комунікацій; норми загальних та експлуатаційних витрат на видобуток (буріння, підривання, екскавація, транспорт, відвалотворення тощо); прогноз попиту на продукцію на ринку; економічні показники (інфляція, податкова політика тощо).

**Постановка завдання.** Загальна методологія, описана у [3], повинна набувати подальшого розвитку, пов'язаного із синхронізацією результатів різних етапів планування. Часто виникає проблема щодо адаптації результатів роботи алгоритмів планування до власне гірничої ситуації на кар'єрі та представлення знайдених рішень у необхідній технічній документації. У статті ставилось завдання проаналізувати різновиди алгоритмів автоматизованого визначення контурів кар'єру та їхні модифікації для забезпечення оптимізації планування.

**Викладення матеріалу та результати.** Кроки, які потрібно здійснити для розв'язання задачі визначення контурів кар'єру:

1. Визначення об'ємів руди та породи, корисного компоненту в них, що максимізує значення  $NPV$ .
2. Визначення структури формування собівартості з урахуванням запасів, що склалися у процесів формування контурів.
3. Аналіз результатів щодо отриманих параметрів руди, які дозволять виконати вимоги з кількості та якості кінцевого продукту.
4. Визначення послідовності відробки уступів кар'єру за часовими інтервалами, яка забезпечить максимальну ефективність використання корисних копалин з урахуванням витрат на видобуток руди та вилучення породи.
5. Розрахунок прибутку та ефективності капіталовкладень з урахуванням послідовності відробки родовища за часовими інтервалами.
6. Додаткові розрахунки за етапами, що дозволять дослідити переваги та недоліки різних варіантів розробки родовища.

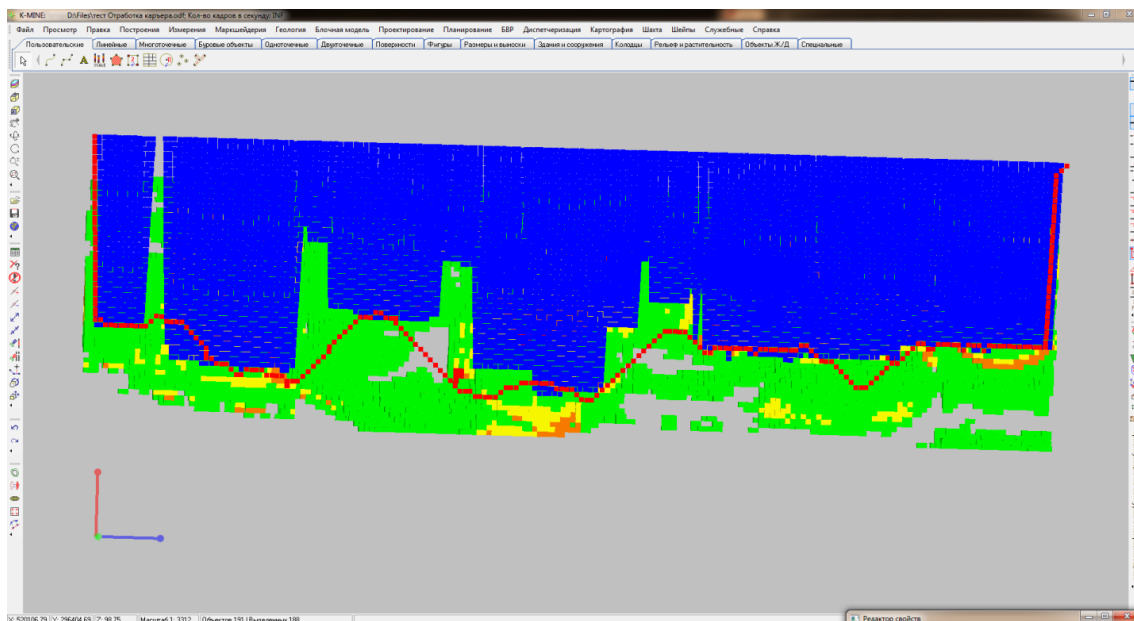
Задача визначення контурів кар'єру з використанням геоінформаційних систем ґрунтується на таких алгоритмах роботи з блоковими цифровими моделями родовища, як методи рухомого конуса та методи Лерчса-Гроссмана (з використанням графів та з використанням динамічного програмування).

У даній роботі розглянемо питання застосування методу Лерчса-Гроссмана, який може мати як площинну, так і просторову модифікації. У результаті обробки гірничого блокового масиву даним

методом дослідник отримає набір блоків, що наближено відтворюють контури майбутнього кар'єру. Алгоритми обов'язково повинні забезпечити виконання умови безперервності проведення гірничих робіт та формування такого контуру, що відповідатиме вимогам із забезпечення безпечних параметрів гірничих виробок. Тому до того контуру, що сформує алгоритм, обов'язково потрапляють блоки, які недоцільно було б видобувати, якби вони не забезпечували технологію гірничих робіт. З цих міркувань впливає необхідність так сформувати контури гірничих виробок, щоб до них входило якомога менше таких блоків. Тому доцільно розглядати не лише тривимірні модифікації алгоритмів Лерчса-Гроссмана, а й їхні площинні різновиди. За використання таких алгоритмів блокова модель розбивається на сукупність площинних розрізів, у кожному з яких знаходиться оптимальний контур гірничих робіт. За задумкою, сукупність таких плоских контурів складає просторову фігуру, що відповідає оптимальному кар'єру з точки зору *NPV*.

Проте, дана модифікація алгоритму не позбавлена певних недоліків. Першою проблемою, з якою відразу стикається дослідник, є неузгодженість знайдених оптимальних контурів у різних розрізах.

Як приклад, на рис. 1 наведено розв'язок плоскою задачею Лерчса-Гроссмана визначення контурів кар'єру.



**Рис. 1.** Приклад визначення оптимального контуру кар'єру у площинних розрізах (вид спереду)

Як бачимо, рекомендовані алгоритмом плоскі контури мають різну конфігурацію і глибину відробки, тому для формування адекватного просторового контуру необхідно узгодити їх один з одним.

Одним із можливих способів розрахунку узгодженої конфігурації оптимального контуру кар'єру може служити методологія відновлення інформації, яка формувалась при розв'язанні задач відновлення пропусків у таблицях даних.

Задача відновлення пропусків також має свої обумовлені постановки задач. По-перше, слід відрізнити тип даних, які потрібно згладжувати та відновлювати. Ці дані можуть бути серед вхідних факторів, серед результату обчислення, а також і серед вхідних і серед вихідних значень, а також серед значень ознак певного об'єкта, де такі характеристики явно не виділені.

По-друге, постановка задачі може відрізнитись при використанні різних методів розв'язання задач відновлення пропусків. Визначаючи метод застосування, потрібно враховувати особливості та вимоги його застосування. Виділяють методи [5]: що базуються на елементарних обчисленнях; статистичні; імовірнісні; нейромережеві; еволюційні тощо.

У загальному вигляді задачу можна представити так (рис. 2).

У кожному розрізі, для якого виконана оптимізаційна процедура Лерчса-Гроссмана для пошуку кінцевого контуру, винайдено координати  $(X_i, Z_i)$  точок даного контуру. Для кожної точки зафіксуємо її третю координату  $Y_i$  за належністю до певного розрізу. Кожну точку прив'яжемо до блоку (наприклад, верхнього правого) і сформуємо для нього економічну оцінку

$E_i$  (вона вже використовувалась при розрахунку контуру).

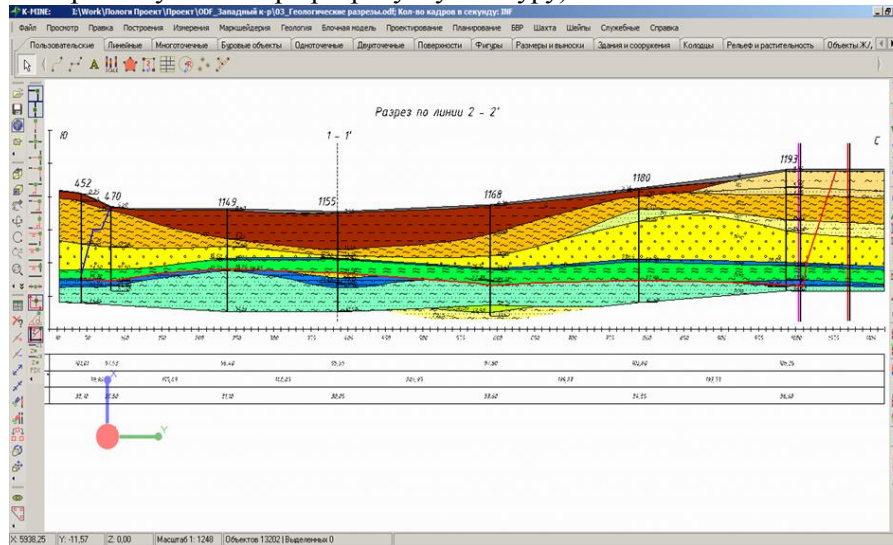


Рис. 2. Аналіз розрізів та оптимальних контурів у них

Так отримуємо вектор вхідних  $U=(X_i, Y_i, Z_i, E_i)$  факторів. Кожну точку масиву  $U$  потрібно зв'язати із двома іншими точками сусідніх розрізів таким чином, щоб індекс координат відрізнявся максимально на одиницю у більший або менший бік за кожною із координат. Тобто, наприклад точку розрізу  $Y_{14}$  з координатами  $X_{12}Y_{14}Z_3$  можна зв'язати із точками  $X_{12}Y_{13}Z_3$  або  $X_{11}Y_{13}Z_2$  або  $X_{11}Y_{13}Z_3$  або  $X_{11}Y_{13}Z_4$  або  $X_{12}Y_{13}Z_2$  або  $X_{12}Y_{13}Z_4$  або  $X_{13}Y_{13}Z_2$  або  $X_{13}Y_{13}Z_3$  або  $X_{13}Y_{13}Z_4$ . Якщо жодна із цих точок не входить до сформованого оптимізаційного контуру розрізу  $Y_{13}$ , то потрібно її визначити за допомогою одного з методів відновлення пропусків, сформувавши результуючий масив  $V_i$  умовних оцінок (наприклад, у частках одиниць) приєднання певної точки до оптимального контуру.

Якщо після використання алгоритму Лерчса-Гроссмана точка сусіднього розрізу рекомендована до включення до оптимального контуру, то  $V_i=1$ , в іншому випадку  $V_i \in (0,1)$ .

Задача відновлення пропусків у даних полягає в знаходженні

$$\min \|V - F(U)\|, \quad (1)$$

де  $F(U)$  - аналітична залежність між вхідними факторами  $U$  та результуючими показниками  $V$ .

Розв'язання задачі (1) полягає в ітеративному повторенні процедур ідентифікації залежності  $F$  та оптимізації виразу (1) [5].

Виконаємо аналіз методів відновлення пропусків для формування просторового оптимального контуру.

1. Метод заповнення середнім значенням. Згідно з цим методом відсутнє значення на перетині  $i$ -го рядка та  $j$ -го стовпчика розраховується за формулою

$$a_{ij}^* = \frac{1}{q} \sum_i a_{ij},$$

де  $q$  - кількість заповнених елементів у  $j$ -му стовпчику.

Перевагою методу є простота. До недоліків належить той фактор, що не враховується зв'язок некомплектного рядка з іншими рядками, що веде до зміщеної та невірогідної оцінки невідомого значення.

2. Метод підстановки. Для обчислення значення на перетині  $i$ -го рядка та  $j$ -го стовпчика серед усіх інших рядків вибираємо ті, в яких лише у  $j$ -му стовпчику пропуск, або рядки, які є некомплектними. Знаходимо їхню відстань до цільового рядка за формулою

$$d_{ki} = \left( \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^{n+m} |a_{kl} - a_{il}| \right)^{\frac{1}{2}}, \quad k=1, s,$$

де  $s$  - кількість рядків, що визначаються вищезазначеною умовою.

Впорядковуємо значення  $d_k$  за спаданням і задаємо деяке число  $d > 0$  (найчастіше  $d=0.5$ ). Серед усіх  $d_k$  вибираємо перші  $h$  (найчастіше  $h=0.8s$ ), для яких  $d_k > d$ . Знаходимо значення пропуску

$$a_{ij}^* = \sum_{l=1}^h a_{ij} \cdot \frac{1}{1+d_{li}} \bigg/ \sum_{l=1}^h \frac{1}{1+d_{li}}.$$

Метод працюватиме, якщо між факторами існує залежність, хоча часто це не відповідає дійсності

3. Метод множинної регресії застосовується при припущенні, що залежність (1) має лінійний характер  $V=b_0+b_1X+b_2Y+b_3Z+b_4E$ . Метод вимагає виконання низки застережень та перевірок вхідних даних на мультиколінеарність, гетероскедастичність, автокореляцію і застосування модифікованих версій методу найменших квадратів.

4. Метод Барлетта використовує матрицю супутніх значень змінних пропусків  $Q$  і представляє зв'язок між змінними у вигляді  $V=U\beta+Q\gamma+\varepsilon$ , де  $\varepsilon$  - вектор залишків,  $\beta$  - оцінюваний параметр.

5. *Resampling*-метод обробляє різні частини одних і тих самих даних, що дозволяє здійснювати їх різносторонній аналіз і зіставляти одержані результати. Перевагою даного методу є повне використання вхідної інформації, проте водночас її повторне використання зменшує інформативність даних.

6. Алгоритм *ZET* оцінює кожне пропущене значення за «компетентною» матрицею, яка складається із певної кількості рядків і стовпчиків вихідної матриці. Пропущене значення у рядку знаходять, використовуючи обчислення відстаней, у стовпчику - обчислення коефіцієнтів кореляції. Остаточну оцінку знаходять, усереднюючи попередні оцінки з ваговими коефіцієнтами, значення яких визначаються певними параметрами.

7. Алгоритм *ZETBraid* реалізує ідею поступового додавання до «компетентної» матриці рядків і стовпчиків. Сутність алгоритму полягає у специфічному підрахунку відстаней між рядками та стовпчиками за формулою

$$r_{ij} = \sum_{k=1}^n b_k \cdot \left( \left| a_{ik} - a_{jk} \right| \right),$$

де  $b_k$  - ваговий коефіцієнт, значення якого залежить від того, чи входить  $i$ -й стовпчик до «компетентної» матриці.

Використання, наприклад, алгоритму *ZET* для формування коректного оптимального контуру трансформує множину контурів, наведених на рис. 3 у орієнтовний оптимальний кар'єр (рис. 4).

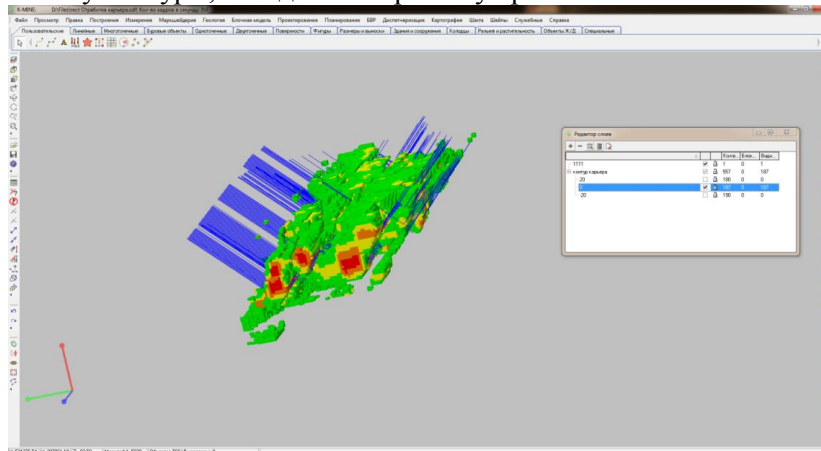


Рис. 3. Результат роботи плоского алгоритму Лерча-Гроссмана

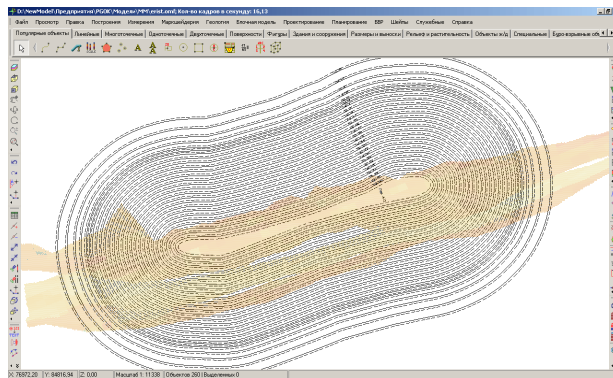


Рис. 4. Рекомендований оптимальний контур кар'єра після додаткової обчислювальної обробки

Слід зазначити, що однозначну відповідь про найкращий алгоритм відновлення пропусків даних, надати складно. Отримані показники роботи алгоритмів наведені у табл.1. Бачимо, що три алгоритми обробки площинних розрізів виявились ефективнішими за об'ємний алгоритм за усіма показниками. Проте, вибрати серед методів *Resampling*, *ZET* або *ZETBraid* один абсолютно найкращий, не можна. Вони надають простір для активної участі у процесі розрахунків людини, що приймає рішення (ЛПР), яка може надати різним критеріям відповідних ваг. Це дозволить вибрати такий оптимальний контур кар'єру, що задовольнятиме дослідників з точки зору різних аспектів гірничої технології.

Таблиця 1

Результати додаткової обробки оптимальних перерізів методами відновлення інформації			
Метод	NPV, у.о.	Об'єм видобутку, тис.м <sup>3</sup>	Коефіцієнт розкриття
Заповнення середнім значенням	1 396 580	544 188	3,29
Підстановки	1 830 100	512 019	3,11
Множинної лінійної регресії	1 715 896	527 265	3,17
Бартлетта	2 020 768	490 708	2,81
<i>Resampling</i>	2 064 820	473 312	2,78
<i>ZET</i>	2 115 442	477 005	2,01
<i>ZETBraid</i>	2 001 771	482 951	2,24
Об'ємний	2 041 530	493 504	2,18

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Алгоритм Лерчса-Гроссмана визначення оптимальних контурів кар'єру потребує додаткових обчислювальних процедур для забезпечення ефективної гірничотехнологічної ситуації на кар'єрі.

Вибір найкращого результату визначення оптимального контуру кар'єру слід розглядати як задачу прийняття рішень з вибору ефективного рішення за багатьма критеріями.

#### Список літератури

1. **Ю.Е. Капутин.** Горные компьютерные технологии и геостатистика. – СПб.: Недра, 2002.
2. Нормы технологического проектирования горнодобывающих предприятий с открытым способом разработки месторождений полезных ископаемых. Часть 1. Горные работы. Ликвидация горнодобывающих предприятий. Технико-экономическая оценка и показатели. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007. Издание официальное. – Киев, Министерство промышленности политики Украины, 2007.
3. **Н.В. Назаренко, С.Н. Шолох.** Автоматизация перспективного планирования карьеров горнообогатительных комбинатов на основе геоинформационных технологий.– *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – Днепрпетровск, 2016. - №4.- С.90-95.
4. [ka1.ua/tu/products/k-mine](http://ka1.ua/tu/products/k-mine).
5. **В.Є.Снитюк.** Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми. – К., Маклаут, 2008. – 364 с.
6. Nazarenko M.V. Correlation model of enrichment process creation / M.V. Nazarenko, N.V. Nazarenko // *Metallurgical and Mining Industry.* - 2015. - Vol. 6.
7. [www.geovia.com/products/MineSched879](http://www.geovia.com/products/MineSched879)
8. **Арсентьев А.И., Советов Г.А.** и др. / Планирование развития горных работ в карьерах // М.: Недра, 1972.
9. Компьютеры и системы управления в горном деле за рубежом / **Ю.П. Астафьев, А.С. Зеленский, Н.И. Горлов** и др. // М.: Недра, 1989.
10. **Р.К. Achireko** / Application of Modified Conditional Simulation and Artificial Neural Networks to Open Pit Optimization // Dalhousie University Daltech, Halifax. - 1998.

Рукопис подано до редакції 17.03.17

УДК 624.012.454

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,

О.Ю. ЄРЬОМЕНКО, М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доц.,

С.О. ВОЛКОВ, вишукувач, Криворізький національний університет

## ПРОГРАМА ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ БАЛОК ЗІ ЗМІШАНИМ АРМУВАННЯМ БАЗАЛЬТОВОЮ ТА МЕТАЛЕВОЮ АРМАТУРОЮ

**Мета.** Визначення напружено-деформованого стану балок зі змішаним армуванням базальтовою та металевою арматурою. З'ясування впливу відмінностей механічних властивостей композитної арматури від металевої на показники міцності, жорсткості та тріщиностійкості згинних конструкцій.

**Методи дослідження.** Аналіз існуючих експериментальних відомостей експлуатаційних показників згинних