

# Методика планирования экскаваторных работ в карьере на основе компьютерного моделирования

В.Д. Кантемиров, А.М. Яковлев, Р.С. Титов ✉, А.В. Тимохин

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация  
✉ ukr@igduran.ru

**Резюме:** Введение. Карьерные экскаваторы, которые обеспечивают выемку и погрузку взорванной горной массы в забоях, являются одним из основных технологических звеньев системы комплексной механизации карьеров. Уровень интенсивности ведения горных работ определяет расстановку экскаваторов в карьерном пространстве.

**Цель работы.** Разработать метод автоматизированной расстановки экскаваторов по рабочим горизонтам карьера.

**Методология.** Расстановка по рабочим горизонтам карьера забойных экскаваторов производится на основании расчетов, компьютерного моделирования и с учетом технических и эксплуатационных параметров экскаваторов, а также оценки активного фронта горных работ. Основным этапом решения поставленной задачи является построение блочных моделей рудного тела, моделирование горных работ, построение модели карьера по периодам отработки месторождения. На базе результатов блочного моделирования определяется оптимальная длина экскаваторного блока на рабочем горизонте для выбранной модели забойного экскаватора.

**Результаты.** В статье предложена методика планирования экскаваторных работ в карьере и расстановки забойных экскаваторов на основе компьютерного моделирования развития горных работ с учетом объемов переработки горной массы на горизонтах карьера, протяженности активного фронта, качества полезного ископаемого, заданной интенсивности разработки, принятых моделей экскаваторов и других атрибутивных компьютерных данных. На основе блочной модели производится расстановка экскаваторов по рабочим горизонтам карьера. Предложенный подход позволяет в сжатые сроки в полуавтоматическом режиме рассмотреть множество вариантов расстановки забойных экскаваторов в рудном карьере и выбрать наиболее оптимальный вариант для повышения интенсивности добычи.

**Выводы.** Предложенная методика позволяет в сжатые сроки в полуавтоматическом режиме решать вопросы вскрытия нижних горизонтов глубоких карьеров, рассматривать множество вариантов расстановки забойных экскаваторов в рудном карьере и выбирать наиболее оптимальный вариант, способствует минимизации рисков производства при разработке сложноструктурных месторождений и комплексном извлечении сырья.

**Ключевые слова:** расстановка карьерных экскаваторов, блочное моделирование, длина фронта горных работ, рабочие горизонты карьера

**Для цитирования:** Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., Тимохин А.В. Методика планирования экскаваторных работ в карьере на основе компьютерного моделирования. *Горная промышленность*. 2023;(6):75–80. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-75-80>

## Methodology of planning excavator operations in open pit mines based on computer modeling

V.D. Kantemirov, A.M. Yakovlev, R.S. Titov ✉, A.V. Timokhin

Institute of Mining of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation  
✉ ukr@igduran.ru

**Abstract:** Introduction. In-pit excavators, which provide removal and loading of muck piles, are one of the main process links in the system of complex mechanization of open-pit mines. The level of mining operation intensity is determined by the arrangement of excavators in the open pit.

**Research objective.** The research aims to develop a method of automated positioning of excavators at the production benches of the open pit mine.

**Methodology.** Arrangement of in-pit excavators at the production benches of the open pit mine is based on calculations, computer modeling and is made with account of technical and operational parameters of the excavators, as well as estimation of the active front of mining operations. The main stage of solving the formulated problem is the construction of block models of the ore body, modeling of mining operations, and building a model of the open pit mine by the stages of the deposit development. Based on the results of block modeling, the optimal length of the excavator block at the production bench for the selected model of the face excavator is determined.

**Results.** The article proposes a methodology for planning excavator operations in the open pit mine and positioning of the face excavators based on computer modeling of the mining operations progress with due account of the volume of rock mass handling

on the open pit bench, the length of the active front, the mineral grade, the given rate of development, the accepted models of excavators and other attributive computer data. Based on the block model, the excavators are positioned on the production benches of the open pit mine. The proposed approach allows a prompt consideration of many options to arrange face excavators in the open pit ore mine in a semi-automatic mode and select the best option to increase the mining efficiency.

**Conclusions.** The proposed methodology allows to promptly solve in a semi-automatic mode the issues of opening the lower levels of deep pits, to consider many options for placing face excavators in the ore pit and choose the best option, contributes to minimizing the operational risks in the development of complex-structured deposits and complex extraction of raw materials.

**Keywords:** positioning of open pit excavators, block modeling, length of the mining front, production levels of the open pit mine

**For citation:** Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S., Timokhin A.V. Methodology of planning excavator operations in open pit mines based on computer modeling. *Russian Mining Industry*. 2023;(6):75–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-6-75-80>

**Введение**

Одним из основных технологических звеньев системы комплексной механизации карьеров являются карьерные экскаваторы, обеспечивающие выемку и погрузку взорванной горной массы в забоях, расстановка которых в карьерном пространстве в значительной мере определяет уровень интенсивности ведения горных работ [1]. Алгоритм автоматизированной расстановки экскаваторов «балансировки» по рабочим горизонтам карьера реализован в программном комплексе GeoviaMineshed («балансировка» – термин программы) и других программных комплексах планирования горных работ в карьерах (ПО) [2–6].

В качестве входных исходных данных в известных программных комплексах (типа GeoviaMineshed) используется более 10 параметров (атрибутивных данных), таких как качество сырья (технологический тип руды, содержание ценных компонентов и др.), координаты разрабатываемого участка, параметры блочной и цифровой топографической (ЦТМ) моделей, направление и схема транспортирования руды и вскрыши и т.п.

Используемый в указанных компьютерных программах подход позволяет сократить сроки планирования наиболее оптимального варианта расстановки забойных экскаваторов в рудном карьере. Однако используемые на практике ПО обладают рядом ограничений и требуют выполнения большого количества операций. В связи с этим совершенствование методик планирования оптимальной расстановки выемочно-погрузочного оборудования в карьерах с учетом динамики изменения геометрической конфигурации рабочей зоны и объемно-качественных характеристик добываемой руды является актуальной задачей.

**Методология**

Расстановка по рабочим горизонтам карьеров забойных экскаваторов производится на основании расчетов, компьютерного моделирования и с учетом технических и эксплуатационных параметров экскаваторов типа ЭК [7; 8].

В общем виде последовательность решения задачи расстановки (балансировки) экскаваторов в карьерном пространстве представлена на блок-схеме рис. 1.

Расстановка забойных экскаваторов в карьере во многом связана с формированием активного фронта горных работ и организационными вопросами. Фронт горных работ формируется на каждом добычном и вскрышном уступе, при этом в расчете на один экскаваторный забой задается

определенная длина фронта работ. В современных условиях оценка направлений и интенсивности развития горных работ производится на основе компьютерного моделирования и ГИС технологий [9–11].

Таким образом, первым этапом решения поставленной задачи является построение блочных моделей рудного тела [12], моделирование горных работ, построение модели карьера по этапам отработки месторождения и далее в соответствии с блоками 2–4 блок-схемы рис. 1.

В соответствии с блок-схемой рис. 1 после выполнения пунктов 1–4 для выбранного типа или модельного ряда забойных экскаваторов определяется оптимальная длина экскаваторного блока на рабочем горизонте.

Длина экскаваторного блока  $L_6$  или фронт работ на уступе, приходящегося на один экскаватор, существенно влияет на интенсивность отработки уступа и связана с производительностью экскаватора  $Q_3$ . Экскаваторный блок обычно разделяют на три участка – погрузки, обуриваемый и подготовленный к взрыву.

Главными факторами, определяющими длину экскаваторного блока с учетом высокой интенсивности разработки месторождения, являются условия расстановки экскаваторов при данном способе транспортирования и условия обеспечения экскаватора взорванной массой на определенный период его бесперебойной работы [13–15]. Длина общего фронта горных работ карьера, обеспечивающая расстановку расчетного парка экскаваторов, будет определяться следующим выражением, м:

$$L_{\Phi,о} = \left( \left[ \frac{Q_d}{Q_{3,р}} + \frac{Q_b}{Q_{3,в}} \right] + n_{р3,3} \right) L_6 = \left( \frac{Q_{ГМ}}{Q_3} + n_{р3,3} \right) L_6 = (n_{р,3} + n_{р3,3}) L_6 = N_3 L_6, \quad (1)$$

где  $Q_d$ ,  $Q_b$  – годовая производственная мощность карьера по добыче руды и вскрыши, м<sup>3</sup>/год;  $Q_{3,р}$ ,  $Q_{3,в}$  – годовая производительность экскаватора по руде и вскрыше, м<sup>3</sup>/год;  $Q_{ГМ}$  – годовая производственная мощность карьера по горной массе, м<sup>3</sup>/год;  $n_{р,3}$  и  $n_{р3,3}$  – количество рабочих и резервных забоев (с минимальной шириной рабочей площадки) в карьере, шт.;  $N_3$  – общее число забоев (экскаваторных блоков) в карьере, шт.

На рис. 2 на примере Западного карьера АО «Карельский окатыш» представлено распределение фронтов горных работ по горизонтам Западного карьера АО «Карельский окатыш».

Оценка интенсивности развития горных работ в карьерном пространстве производится на основе следующих показателей:

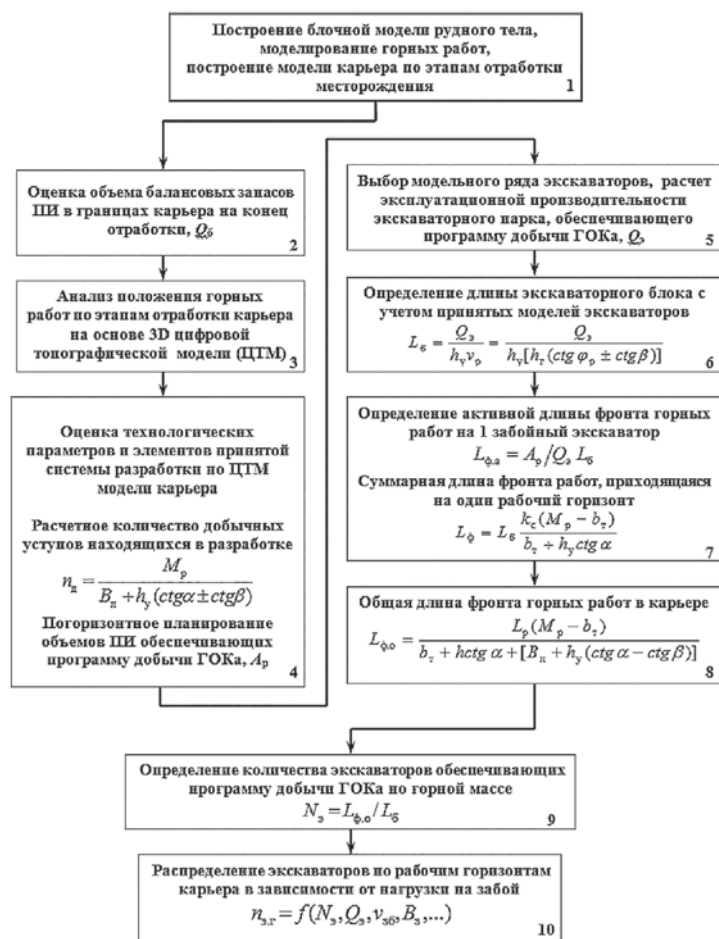


Рис. 1  
Схема решения задачи расстановки (балансировки) экскаваторов в карьерном пространстве

Fig. 1  
Flow chart for solving the task of positioning (balancing) of excavators within the open pit

– скорости подвигания экскаваторного забоя;  
– вектора направления подвигания фронта горных работ (скорости подвигания фронта горных работ);  
– вектора направления углубки (скорости годового понижения горных работ).

Для обеспечения углубки карьера с необходимой скоростью  $h_t$  следует соблюдать следующее условие, м/год:

$$v_p = \frac{Q_3}{h_y L_6} \geq h_t (ctg \varphi \pm ctg \beta), \quad (2)$$

где  $L_6$  – длина экскаваторного блока на рабочем уступе (фронт работ на один экскаватор), м;  $\varphi$  – угол откоса рабочего борта при принятой ширине рабочих площадок, град.

Основным критерием планирования расстановки забойных экскаваторов в карьере является обеспечение требуемых объемов и качества руды.

Учитывая, что объемы руды в забоях  $Q_i$  распределены в карьерном пространстве между собой на расстоянии, равном радиусу генетической связи показателей качества  $L_r$ , то общую длину фронта добычных работ, при которой обеспечивается необходимое качество руды, можно определить следующим выражением, м:

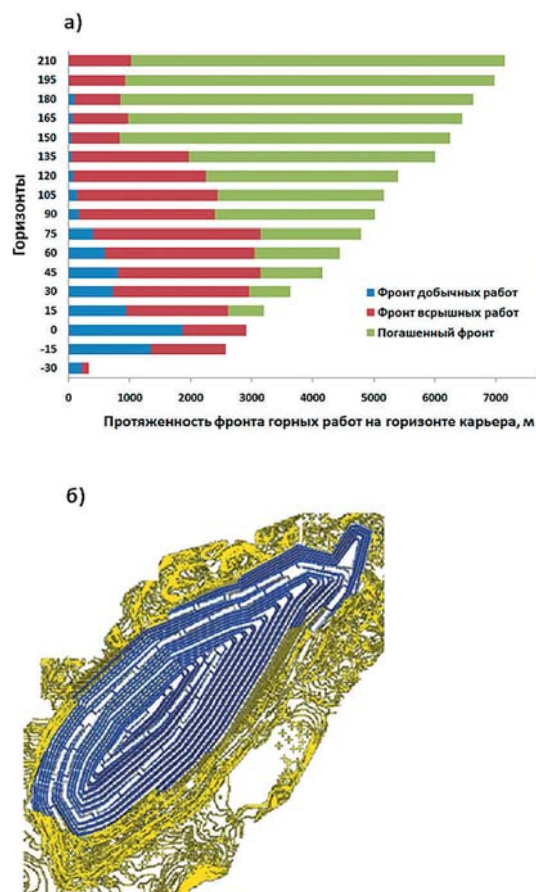


Рис. 2  
Распределение фронтов горных работ по горизонтам Западного карьера АО «Карельский окатыш» на основе блочного моделирования: а – распределение фронтов горных работ на 2021 г.; б – положение горных работ в карьере на конец отработки

Fig. 2  
Distribution of mining fronts by the levels of the Western pit mine of Karelskiy Okatysh JSC based on block modeling: a – distribution of mining fronts as of 2021; b – position of the mining operations in the open pit at the end of mine life

$$L_{\Phi.o} = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_{II}^2} L_r, \quad (3)$$

где  $L_r$  – расстояние, равное радиусу генетической связи показателей качества между забоями (определяется статистической обработкой данных опробования и их корреляционного анализа или определяется по результатам построения блочной модели месторождения при оценке изменчивости показателя качества), м.

### Результаты

Разработанная методика апробирована на примере Западного карьера АО «Карельский окатыш». По результатам блочного моделирования и горно-геометрического анализа для горно-геологических условий месторождения выделено два варианта развития горных работ в карьере (см. рис. 2): вариант 1 – горные работы развиваются с запада на восток, вариант 2 – горные работы развиваются с вос-

Таблица 1

Фрагмент таблицы с вариантами направления развития горных работ и расстановки моделей забойных экскаваторов по горизонтам Западного карьера

Table 1

A fragment of the table with options for directions of mining development and positioning of face excavator models by the levels of the Western open pit mine

Горизонт, м	Расстановка моделей экскаваторов по вариантам развития горных работ							
	Вариант 1 (запад-восток)				Вариант 2 (восток-запад)			
	Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Кол-во экскаваторов, шт.			Объем, тыс. м <sup>3</sup>	Кол-во экскаваторов, шт.		
ЭКГ-10		ЭКГ-15	ЭКГ-20	ЭКГ-10		ЭКГ-15	ЭКГ-20	
210	291	0,2	0,1	0,1	430	0,3	0,2	0,1
.....								
60	1 562	1,2	0,6	0,4	521	0,4	0,2	0,1
45	1 544	1,2	0,6	0,4	1 305	1,0	0,5	0,3
30	1 476	1,1	0,5	0,4	1 875	1,4	0,7	0,5
15	1 893	1,5	0,7	0,5	1 941	1,5	0,7	0,5
0	1 617	1,2	0,6	0,4	2 377	1,8	0,9	0,6
-15	2 443	1,9	0,9	0,6	1 715	1,3	0,6	0,5
-30	2 998	2,3	1,1	0,8	2 030	1,6	0,7	0,5
-45	1 081	0,8	0,4	0,3	-			
<b>Итого:</b>	<b>18 707</b>	<b>14,4</b>	<b>6,9</b>	<b>4,9</b>	<b>19 735</b>	<b>15,2</b>	<b>7,3</b>	<b>5,2</b>

тока на запад. Характерные особенности развития горных работ по вариантам следующие:

1. Вариант 1 обеспечивает объем вскрышных пород на 1 млн м<sup>3</sup> меньше по сравнению с вариантом 2.

2. Вариант 2 позволяет формировать в карьере лучшие горнотехнические условия разработки по следующим параметрам:

- достигается большая ширина рабочих площадок (на 27%) и более протяженные активные фронты горных работ на рабочих горизонтах;

- за счет широких рабочих площадок обеспечивается более пологий угол откоса рабочего борта;

- упрощается размещение вскрывающих выработок, улучшаются условия работы экскаваторов в забоях.

В табл. 1 представлены результаты сравнения по предложенной методике вариантов расстановки ряда наиболее распространенных моделей забойных экскаваторов (типа ЭКГ) по горизонтам карьера.

Анализ данных табл. 1 показывает следующее:

- необходимое количество экскаваторов в зависимости от принятых моделей составит от ~ 5 шт. для ЭКГ-20 до 15 шт. для ЭКГ-10;

- в целом организация горных работ по варианту 2 потребует увеличения количества экскаваторов ~ на 1 ед. по всему рассмотренному модельному ряду, однако, как отмечено выше, более благоприятные условия работы экскаваторов по варианту 2 позволят увеличить их производительность и в конечном итоге оптимизировать парк;

- более рациональным является следующий вариант комбинации моделей экскаваторов по условиям ведения горных работ – предусмотреть ЭКГ-20 для выемки больших объемов вскрышных работ, а ЭКГ-10 – для добычи руды с предложенной расстановкой по горизонтам.

Это позволит сократить объемы потерь и разубоживания ПИ при отработке характерных для месторождения сложных контактов «руда–порода» и уменьшит риски невыполнения программы ГОКа по объемам и качеству добываемой руды.

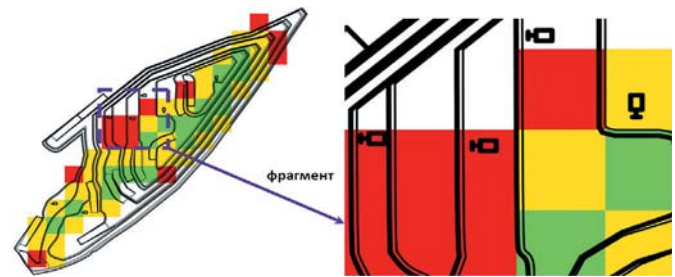


Рис. 3  
Решение задачи расстановки (балансировки) экскаваторов в карьере на основе крупноблочной модели с учетом данных детальной

Fig. 3  
Solution of the task of positioning (balancing) of excavators within the open pit based on a large-block model with account of detailed exploration data and the ore grades (the ore areas indicate areas of different ore grades)

На рис. 3 представлен пример расстановки экскаваторов по горизонтам карьера с учетом результатов блочного моделирования на Западном карьере.

Предлагаемая методика реализована в виде прикладной программы, которая работает совместно с блочной моделью геологической базы данных месторождения (карьера), созданной в GEOVIASurpac, и отличается от программы GeoviaMineshed следующими возможностями:

- позволяет рассмотреть различные варианты развития горных работ по глубине и направлению с учетом подвижения фронта работ и различных комбинаций экскаваторного парка в одном расчете, что значительно ускоряет процессы планирования горных работ;

- GeoviaMineshed аналогичная задача решается при значительно большем количестве операций, так как необходимо каждый вариант расстановки экскаваторов рассматривать в отдельном «сценарии» (термин рабочего проекта программы);

– позволяет реализовать любой известный алгоритм оптимизации исходных данных и результатов расчетов и планирования – погоризонтных объемов добычи в карьерах (если их несколько в составе ГОКа) и с учетом существующего и (или) моделируемого парка экскаваторов;

– в GeoviaMineshed используется встроенный нередактируемый алгоритм расчета;

– имеется возможность оперативной корректировки объемов добычи и расчета требуемого парка экскаваторов с их расстановкой в карьере на всех этапах планирования, без глобальных изменений в расчетах (изменений «сценариев» в GeoviaMineshed).

В сравнении с известным подходом, где для решения задачи расстановки экскаваторов требуется затратить достаточно продолжительное время (1–3 недели), представ-

ленная методика позволяет увеличить в 2–3 раза скорость расчетов и сравнения вариантов расстановки экскаваторов по горизонтам, что особенно актуально для ГОКов в составе группы карьеров, работающих на одну ОФ.

### Выводы

Предложенная методика позволяет в сжатые сроки в полуавтоматическом режиме решать вопросы вскрытия нижних горизонтов глубоких карьеров, рассматривать множество вариантов расстановки забойных экскаваторов в рудном карьере и выбирать наиболее оптимальный вариант, способствует минимизации рисков производства при разработке сложноструктурных месторождений и комплексном извлечении сырья.

### Список литературы

1. Кантемиров В.Д. Технологические особенности освоения новых сырьевых баз. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(6):369–373. Режим доступа: [https://www.giab-online.ru/files/Data/2014/06/369-373\\_Kantemirov.pdf](https://www.giab-online.ru/files/Data/2014/06/369-373_Kantemirov.pdf)
2. Nelis G., Morales N. A mathematical model for the scheduling and definition of mining cuts in short-term mine planning *Optimization and Engineering*. 2022;23(1):233–257. <https://doi.org/10.1007/s11081-020-09580-1>
3. Blom M., Pearce A.R., Stuckey P.J. Short-term planning for open pit mines: A review. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2019;33(5):318–339. <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1448248>
4. Mousavi A., Kozan E., S.Q. Liu Open-pit block sequencing optimization: A mathematical model and solution technique. *Engineering Optimization*. 2016;48(11):1932–1950. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2016.1142080>
5. Kozan E., Liu S.Q. A new open-pit multi-stage mine production timetabling model for drilling, blasting and excavating operations. *Mining Technology*. 2016;125(1):47–53. <https://doi.org/10.1179/1743286315Y.0000000031>
6. Askari -Nasab H., Awuah-Offei K., Eivazy H. Large-scale open pit production scheduling using Mixed Integer Linear Programming. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2010;2(3):185–214. <https://doi.org/10.1504/IJMM.2010.037624>
7. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М. Анализ эксплуатационных показателей горнодобывающего оборудования ведущих железорудных карьеров России. Известия высших учебных заведений. *Горный журнал*. 2019;(2):40–50. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-2-40-50>
8. Кантемиров В.Д. Сравнительная оценка производительности и количества технологического оборудования крупных карьеров. В кн.: *Научно-техническое обеспечение горного производства. Труды Института горного дела им. Д.А. Кунаева*. Алматы: ИГД им. Д.А. Кунаева; 2009. Т. 78. С. 187–193.
9. Щеглов В.И. *Геостатистические методы анализа и оценки месторождений*. Новочеркасск: Южно-Российский государственный технический университет; 2012. 167 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/books/10480>
10. Демьянов В.В., Савельева Е.А., Арутюнян Р.В. *Геостатистика: теория и практика*. М.: Наука; 2010. 327 с. Режим доступа: [http://ibrae.ac.ru/docs/109/geostatistikai\\_sq\\_cover.pdf](http://ibrae.ac.ru/docs/109/geostatistikai_sq_cover.pdf)
11. Половко А.М., Бутусов П.Н. *Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации*. СПб.: БХВ-Петербург; 2004. 320 с. Режим доступа: [http://physics.gov.az/book\\_I/interpolyatsiya\\_metody.pdf](http://physics.gov.az/book_I/interpolyatsiya_metody.pdf)
12. Наговицын О.В., Лукичев С.В. Горно-геологические информационные системы, область применения и особенности построения. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(7):71–83. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2016/7/71\\_83\\_7\\_2016.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2016/7/71_83_7_2016.pdf)
13. Ракишев Б.Р. *Технологические комплексы открытых горных работ*. Алматы; 2015. 313 с.
14. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Колонюк А.А. *Интенсивность формирования рабочей зоны глубоких карьеров*. Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова; 2013. 187 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/rqjtcv>
15. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В., Коваленко В.С. *Проектирование карьеров*. 3-е изд., перераб. М.: Высшая школа; 2009. 694 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-proektirovanie-karero.pdf>

### References

1. Kantemirov V.D. Technological features of development of new raw-material bases. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(6):369–373. (In Russ.) Available at: [https://www.giab-online.ru/files/Data/2014/06/369-373\\_Kantemirov.pdf](https://www.giab-online.ru/files/Data/2014/06/369-373_Kantemirov.pdf)
2. Nelis G., Morales N. A mathematical model for the scheduling and definition of mining cuts in short-term mine planning *Optimization and Engineering*. 2022;23(1):233–257. <https://doi.org/10.1007/s11081-020-09580-1>
3. Blom M., Pearce A.R., Stuckey P.J. Short-term planning for open pit mines: A review. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2019;33(5):318–339. <https://doi.org/10.1080/17480930.2018.1448248>
4. Mousavi A., Kozan E., S.Q. Liu Open-pit block sequencing optimization: A mathematical model and solution technique. *Engineering Optimization*. 2016;48(11):1932–1950. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2016.1142080>

5. Kozan E., Liu S.Q. A new open-pit multi-stage mine production timetabling model for drilling, blasting and excavating operations. *Mining Technology*. 2016;125(1):47–53. <https://doi.org/10.1179/1743286315Y0000000031>
6. Askari -Nasab H., Awuah-Offei K., Eivazy H. Large-scale open pit production scheduling using Mixed Integer Linear Programming. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*. 2010;2(3):185–214. <https://doi.org/10.1504/IJMME.2010.037624>
7. Kantemirov V.D., Titov R.S., Iakovlev A.M. The analysis of mining equipment performances in the leading iron-ore open pits of Russia. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. 2019;(2):40–50. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2019-2-40-50>
8. Kantemirov V.D. Comparative assessment of productivity and quantity of process equipment in large open pit mines. In: *Scientific and technical support of mining production. Proceedings of the D.A. Kunaev Mining Institute*. Almaty: Institute of Mining named after D.A. Kunaeva; 2009. Vol. 78, pp. 187–193. (In Russ.)
9. Shcheglov V.I. *Geostatistical methods of analysis and assessment of deposits*. Novocherkassk: Platov South-Russian State Polytechnic University; 2012. 167 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/books/10480>
10. Demyanov V.V., Savelieva E.A., Arutyunyana R.V. *Geostatistics: Theory and Practice*. Moscow: Nauka; 2010. 327 p. (In Russ.) Available at: [http://ibrae.ac.ru/docs/109/geostatistikai\\_sq\\_cover.pdf](http://ibrae.ac.ru/docs/109/geostatistikai_sq_cover.pdf)
11. Polovko A.M., Butusov P.N. Interpolation. *Methods and computer technologies of their implementation*. St. Petersburg: BKhV-Peterburg; 2004. 320 p. (In Russ.) Available at: [http://physics.gov.az/book\\_I/interpolyatsiya\\_metody.pdf](http://physics.gov.az/book_I/interpolyatsiya_metody.pdf)
12. Nagovitsyn O.V., Lukichev S.V. Mining and geological information systems, areas of application and features of building. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2016;(7):71–83. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2016/7/71\\_83\\_7\\_2016.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2016/7/71_83_7_2016.pdf)
13. Rakishev B.R. *Technological complexes of surface mining operations*. Almaty; 2015. 313 p. (In Russ.)
14. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Kolonyuk A.A. *Intensity of work zone formation in deep pit mines*. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University; 2013. 187 p. (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/rqjtcv>
15. Trubetskoy K.N., Krasnyansky G.L., Khronin V.V., Kovalenko V.S. *Designing of surface mines*. 3<sup>rd</sup> ed. Moscow: Vysshaya shkola; 2009. 694 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-proektirovanie-karerov.pdf>

**Информация об авторах**

**Кантемиров Валерий Данилович** – кандидат технических наук, заведующий лабораторией Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-6486-2740>; e-mail: [ukrkant@mail.ru](mailto:ukrkant@mail.ru)

**Яковлев Андрей Михайлович** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, сектор Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0001-8285-6387>; e-mail: [quality@igduran.ru](mailto:quality@igduran.ru)

**Титов Роман Сергеевич** – старший научный сотрудник, сектор Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-3569-2743>; e-mail: [ukrigd15@mail.ru](mailto:ukrigd15@mail.ru)

**Тимохин Александр Владимирович** – научный сотрудник, сектор Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: [timohin.igduran.geo@mail.ru](mailto:timohin.igduran.geo@mail.ru)

**Информация о статье**

Поступила в редакцию: 29.09.2023

Поступила после рецензирования: 24.10.2023

Принята к публикации: 31.10.2023

**Information about the authors**

**Valery D. Kantemirov** – Cand. Sci. (Eng.), Quality Management Sector Chief, Institute of Mining of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-6486-2740>; e-mail: [ukrkant@mail.ru](mailto:ukrkant@mail.ru)

**Andrei M. Yakovlev** – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Quality Management Sector, Institute of Mining of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0001-8285-6387>; e-mail: [quality@igduran.ru](mailto:quality@igduran.ru)

**Roman S. Titov** – Senior Researcher, Quality Management Sector, Institute of Mining of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-3569-2743>; e-mail: [ukrigd15@mail.ru](mailto:ukrigd15@mail.ru)

**Alexander V. Timokhin** – Research Associate, Mineral Raw Material Quality Management Sector, Institute of Mining of Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: [timohin.igduran.geo@mail.ru](mailto:timohin.igduran.geo@mail.ru)

**Article info**

Received: 29.09.2023

Revised: 24.10.2023

Accepted: 31.10.2023