

ГОРНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТАУШАН НА БАЗЕ БЛОЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

У.А. Атакузиев¹, Б.Р. Раимжанов², А.Р. Хасанов³

¹ Министерство горнодобывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан.

² Филиал Университета науки и технологий МИСИС, Алмалык, Узбекистан.

³ Общество с ограниченной ответственностью «Узбекский проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт геотехнологии и цветной металлургии «O`zGEORANGMETLITI», Ташкент, Узбекистан.

Doi: 10.5281/zenodo.21590418

АННОТАЦИЯ

Статья посвящена горно-техническому обоснованию параметров открытой разработки золоторудного месторождения Таушан на основе цифрового геологического моделирования и оптимизации контуров карьера. Цель исследования заключалась в разработке рудно-породной блочной модели месторождения, определении рациональных границ открытых горных работ и оценке экономической эффективности проектных решений. В работе использованы методы геологического моделирования, блочного моделирования, пространственной интерполяции, экономической оптимизации и трехмерного проектирования с применением программных комплексов Micromine 23.5 и Leapfrog 2024.1. Построены каркасные и блочные модели рудных тел с использованием субблоков размером 0,5 м, что обеспечило высокую точность представления сложноструктурного оруденения. На основе оптимизационных расчетов определены рациональные контуры карьера при бортовом содержании золота 0,4 г/т с учетом горно-геологических, технологических и экономических ограничений. Установлено, что применение цифровых методов моделирования повышает достоверность оценки минеральных ресурсов, обеспечивает обоснованный выбор параметров открытой разработки и создает надежную основу для долгосрочного горного планирования. Предложенный подход может быть использован при проектировании разработки других сложноструктурных золоторудных месторождений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

золоторудное месторождение, месторождение Таушан, открытая разработка, проектирование, блочное моделирование, рудно-породная модель, трехмерное моделирование, каркасная модель, оценка минеральных ресурсов, оптимизация карьера, параметры карьера, бортовое содержание, геолого-экономическая оценка, горно-геологические условия, экономическая эффективность, горное планирование, Micromine, Leapfrog, минеральные ресурсы

Введение

Разработка сложно-структурных месторождений требует комплексного подхода, сочетающего детальное геологическое моделирование, учёт физико-механических свойств пород и экономическую оценку вариантов отработки [1-4]. Рассматриваемое месторождение Таушан характеризуется мозаично-блоковой структурой, высокой изменчивостью мощности и содержания золота, а также наличием зон окисления и сульфидных руд [2, 3]. В этих условиях особую значимость приобретает применение цифровых технологий для построения достоверных моделей запасов и определения оптимальных контуров отработки [7-12].

Цель настоящего исследования являлось обоснование параметров открытой разработки месторождения Таушан посредством создания рудно-породной блочной модели, оптимизации границ карьера и оценки экономической целесообразности выбранных решений. Задачи

включали: анализ качества геологической информации, построение каркасных и блочных моделей рудных тел, расчёт оптимизационных оболочек карьера и интерпретацию полученных результатов для целей горного планирования.

Исходными данными для моделирования послужили результаты геологоразведочных работ на месторождении Таушан, включающие сеть скважин колонкового бурения (рис. 1). Исторические данные в большинстве случаев показали низкую сходимость с современными материалами и не использовались для подсчёта запасов.

Оценка минеральных ресурсов проводилась с применением программного обеспечения Micromine 23.5 и LeapFrog 2024.1 [11, 12]. На первом этапе построены каркасные модели рудных тел с учётом выклинивания по простиранию и падению (рис. 2 и 3). Далее сформированы каркасные модели рудных тел в проекции на вертикальную плоскость (рис. 4).

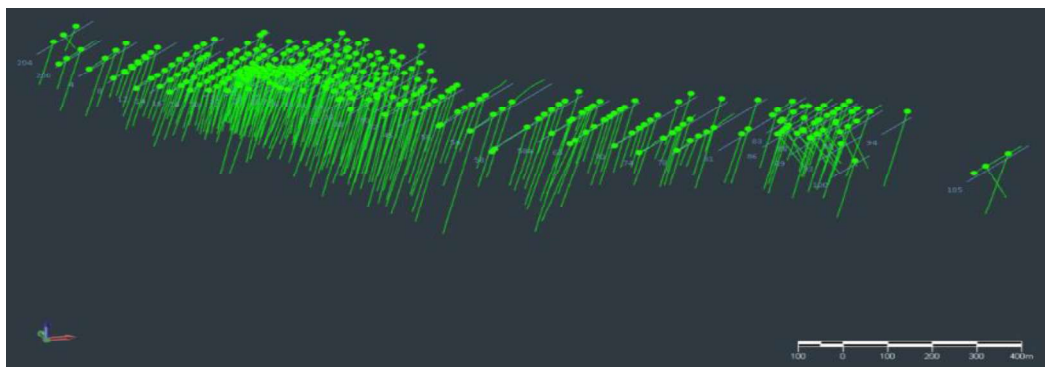


Рис. 1. Положение скважин на месторождении Таушан
(Вид на северо-запад изометрический)

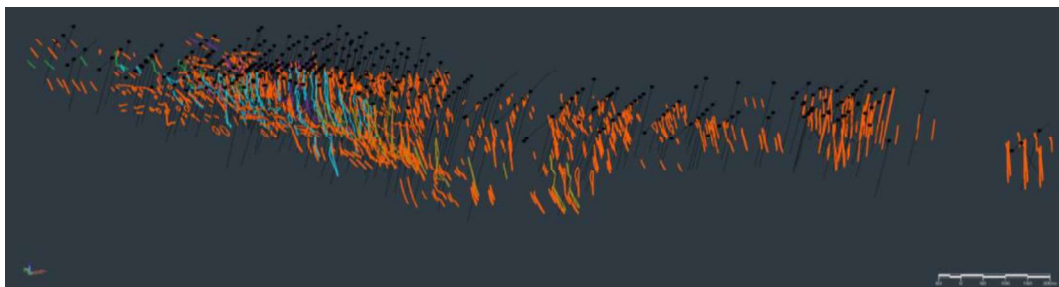


Рис. 2. Контуры рудных тел. Вид на северо-запад изометрический

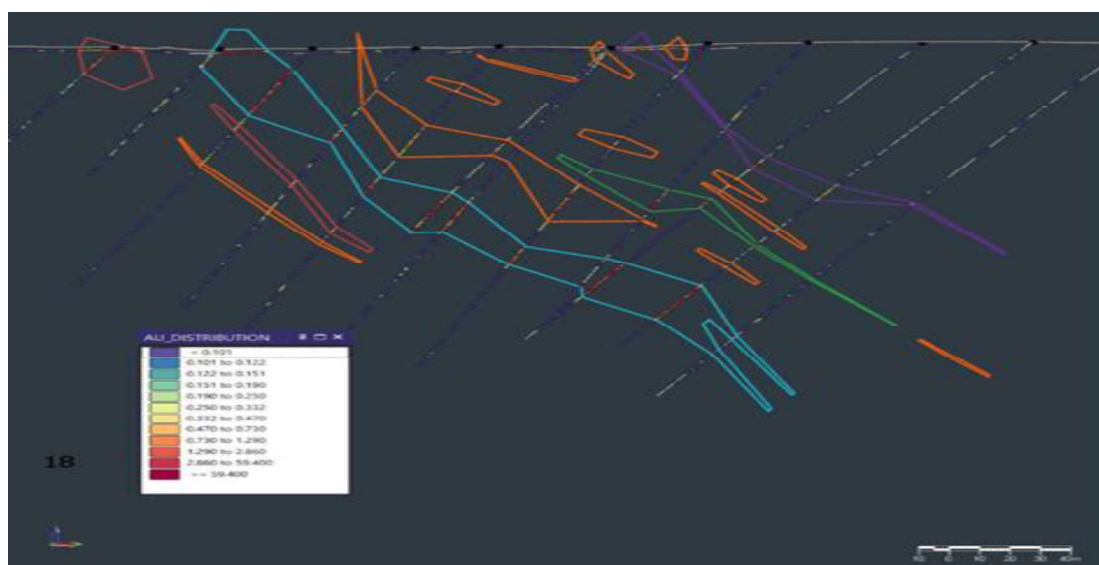


Рис.3. Контуры рудных тел на разрезе

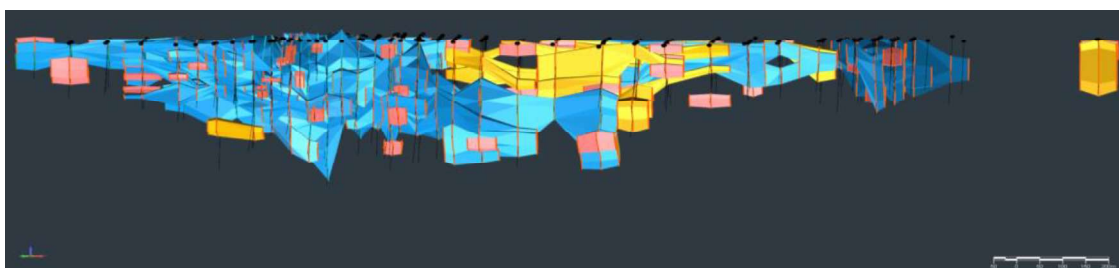


Рис. 4. Каркасные модели рудных тел. Проекция на вертикальную плоскость

Для последующего горного планирования создана рудно-породная блочная модель с детализацией на границах рудных каркасов: материнские блоки разбивались на 6 частей по

каждому направлению для обеспечения точности вписываемости [7, 10]. Параметры блочной модели приведены в табл. 1, визуализация модели представлена на рис. 5.

Таблица 1
Параметры блочной модели

Направление	Границы		Размер блока, м	Размер субблока, м
	Опорная точка	Размер шаблона модели, м		
Восток	566980	569380	3	0,5
Север	518790	520752	3	0,5
Высота	-20	643	3	0,5

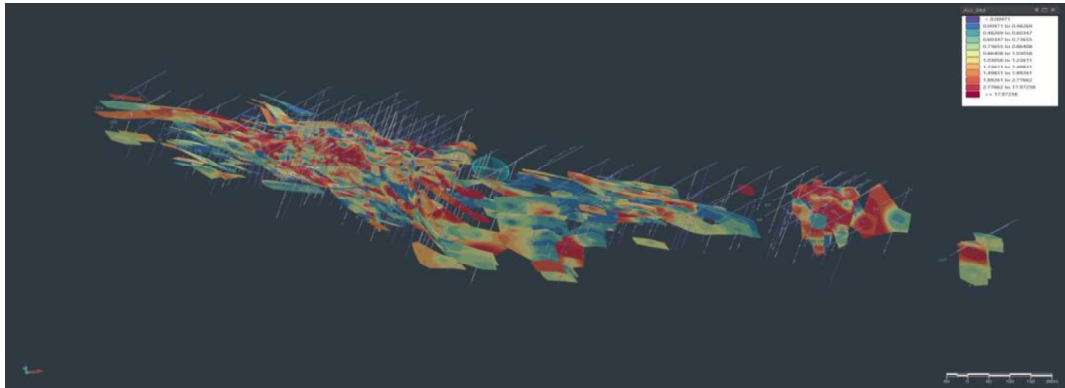


Рис. 5. Блочная модель месторождения. Вид на северо-восток изометрический

Оптимизация контуров карьера выполнялась на базе интерполяционной блочной модели с использованием встроенного оптимизатора [5, 6]. В качестве исходных параметров приняты показатели, указанные в табл. 2, включая бортовое содержание золота, объёмные веса пород и руд, затраты на добычу и вскрышу,

стоимость переработки, цену золота и предельный угол наклона борта карьера. Результатом расчётов стали оптимизационные оболочки, определяющие границы открытых горных работ и оптимальный финальный контур карьера [5, 6, 8].

Таблица 2
Параметры для оптимизационных расчетов

№ пп	Параметры	Ед. изм.	Значения	
1.	Бортовое содержание	г/т	0,4	
2.	Тип руды		Окисленные	Смешанные и сульфидные
3.	Содержание Au в геологических запасах	г/т	2,06	2,40/2,04
4.	Объёмный вес породы	т/м ³	2,67	
5.	Объёмный вес руды	т/м ³	2,61	2,62/2,68
6.	Затраты на добычу руды	\$/т	1	1,39
7.	Затраты на вскрышу	\$/т	1	
8.	Стоимость переработки руды	\$/т	12,81	12,84
9.	Цена золота	\$/унц	3100	
10.	Извлечение (согласно технологическому регламенту)	%	73,93	82,5
11.	Общие и административные расходы	\$/т	2,6	2,9
12.	Предельный угол наклона борта карьера	град.	45	
13.	Минимальные размеры дна карьера (ширина)	м	30	

Построенная блочная модель позволила детально отразить пространственное распределение окисленных, смешанных и сульфидных руд, а также присвоить блокам значения объёмного веса и степени окисления [7, 11]. Параметры блочной модели обеспечивают достаточную детализацию для горного

планирования, размер основного блока - 3 м, субблока - 0,5 м.

На основе оптимизационных расчётов определены границы отработки и сформирован финальный контур проектного карьера. Блочная модель рудных залежей в контуре карьера представлена в проекциях: изометрической (рис. 6) и плане (рис. 7).

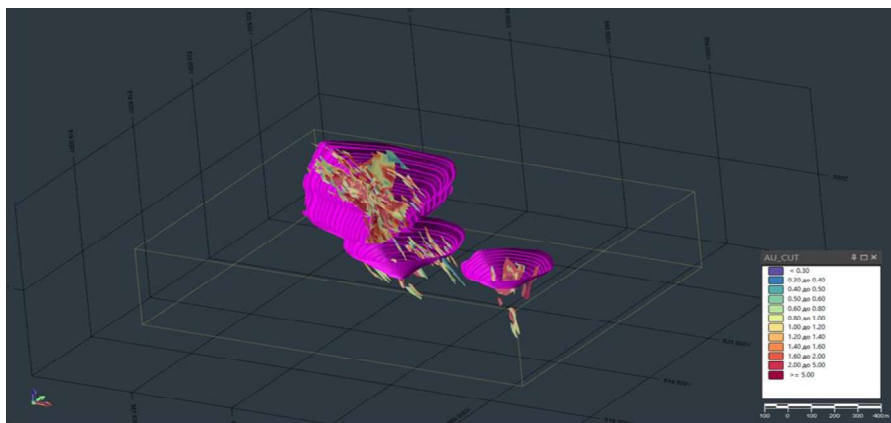


Рис. 6. Блочная модель рудных залежей месторождения Таушан в контуре проектного карьера, вид изометрический на СЗ

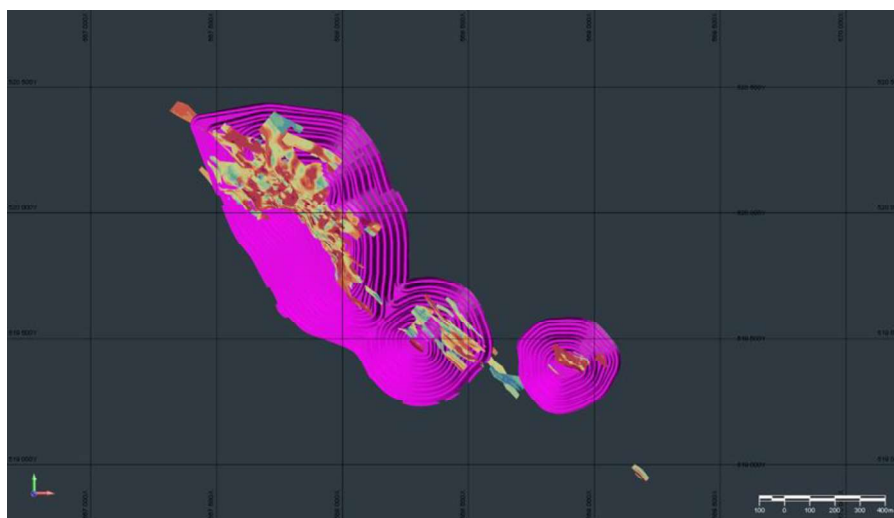


Рис. 7. Блочная модель рудных залежей по бортовому содержанию Au 0,4 г/т месторождения Таушан, вид в плане

Экономические расчёты, выполненные с учётом мировых цен на золото и технологических показателей извлечения, подтвердили рентабельность отработки при заданном бортовом содержании. Учёт административных и эксплуатационных расходов, а также ограничений по устойчивости бортов позволил сформировать сбалансированный вариант развития горных работ.

Полученные результаты демонстрируют эффективность применения блочного моделирования и оптимизационного подхода при проектировании разработки сложноструктурного месторождения [7, 9, 10]. Высокая изменчивость параметров оруденения потребовала детализации модели на границах рудных тел, что было достигнуто за счёт использования субблоков размером 0,5 м. Такой уровень детализации особенно важен для селективной выемки окисленных и сульфидных руд, различающихся по технологическим и экономическим показателям.

Использование современных программных комплексов позволило не только повысить точность оценки запасов, но и учесть пространственную неоднородность распределения полезного компонента [10-14].

Оптимизационные расчёты показали, что при заданных экономических параметрах (цена золота, затраты на вскрышу и переработку) рентабельная отработка возможна при бортовом содержании 0,4 г/т. При этом ограничение по углу наклона борта 45° соответствует инженерно-геологическим условиям месторождения и обеспечивает устойчивость массива в сейсмически активной зоне.

Выводы. Проведённое исследование подтвердило целесообразность применения цифровых методов моделирования и оптимизации для обоснования параметров открытой разработки месторождения Таушан. Построенная рудно-породная блочная модель и оптимизированные контуры карьера обеспечивают достоверную основу для дальнейшего планирования.

Предложенный подход может быть адаптирован для других сложноструктурных месторождений, где требуется баланс между экономической эффективностью, технологической реализуемостью и устойчивостью горных работ. Дальнейшие исследования направлены на разработку календарного плана отработки и оценку влияния технологических решений на полноту извлечения запасов.

MINING AND TECHNICAL JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS FOR OPEN-PIT MINING OF THE TAUSHAN DEPOSIT BASED ON BLOCK MODELING

U.A. Atakuziev¹, B.R. Raimzhanov², A.R. Khasanov³

¹ Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

² Branch of the National University of Science and Technology MISIS in Almalyk, Uzbekistan

³ LLC "Uzbek Research and Design Institute of Geotechnology and Non-Ferrous Metallurgy 'O'zGEORANGMETLITI'", Tashkent, Uzbekistan.

ABSTRACT

This paper presents a mining engineering substantiation of the open-pit development parameters for the Taushan gold deposit based on digital geological modeling and pit optimization. The study aimed to develop an ore–waste block model of the deposit, determine the optimal boundaries of open-pit mining operations, and evaluate the economic feasibility of the proposed mining design. The research employed geological modeling, block modeling, spatial interpolation, economic optimization, and three-dimensional mine design using Micromine 23.5 and Leapfrog 2024.1 software. Wireframe and block models of the ore bodies were constructed using 0.5 m sub-blocks, providing a high level of accuracy in representing the complex geological structure of the mineralization. Based on optimization calculations, rational pit boundaries were determined for a cut-off grade of 0.4 g/t Au, taking into account geological, mining, technological, and economic constraints. The results demonstrate that the application of digital modeling techniques improves the reliability of mineral resource estimation, supports the scientifically justified selection of open-pit mining parameters, and provides a reliable basis for long-term mine planning. The proposed approach can be applied to the design and development of other structurally complex gold deposits.

KEYWORDS

gold deposit, Taushan deposit, open-pit mining, mine design, block modeling, ore–waste block model, three-dimensional modeling, wireframe model, mineral resource estimation, pit optimization, pit parameters, cut-off grade, geological and economic assessment, mining and geological conditions, economic efficiency, mine planning, Micromine, Leapfrog, mineral resources.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ржевский В.В. Открытые горные работы. Часть 1. Производственные процессы. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1985. – 509 с.
2. Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П., Корнилков С.В. Открытые горные работы: учебник. – М.: Горная книга, 2014. – 599 с.
3. Hoek E., Bray J.W. Rock Slope Engineering. – 5th ed. – London: CRC Press, 2018. – 402 p.
4. Hustrulid W., Kuchta M., Martin R. Open Pit Mine Planning and Design. – 3rd ed. – Boca Raton: CRC Press, 2013. – 1308 p.
5. Lerchs H., Grossmann I.F. Optimum Design of Open-Pit Mines // Canadian Mining and Metallurgical Bulletin. – 1965. – Vol. 58. – No. 633. – P. 47–54.
6. Lane K.F. The Economic Definition of Ore: Cut-off Grades in Theory and Practice. – London: Mining Journal Books, 1988. – 373 p.
7. Dominy S.C., O'Connor L., Glass H.J. Mineral Resource Estimation: Current Practice and Future Trends // Minerals Engineering. – 2021. – Vol. 170. – Article 107040.
8. Biswas P., Sinha R.K., Sen P. A Review of State-of-the-Art Techniques for the Determination of the Optimum Cut-off Grade of a Metalliferous Deposit with a Bibliometric Mapping in a Surface Mine Planning Context // Resources Policy. – 2023. – Vol. 85. – Article 103970.
9. Afum B.O., Ben-Awuah E. A Review of Models and Algorithms for Surface–Underground Mining Options and Transitions Optimization // Mining. – 2021. – Vol. 1. – No. 4. – P. 486–514.
10. Machine Learning in Surface Mining–A Systematic Review // Applied Sciences. – 2025. – Vol. 15. – Article 1784.
11. Micromine Pty Ltd. Micromine Origin & Beyond. User Guide. Version 2024. – Perth: Micromine Pty Ltd., 2024.

12. Seequent Ltd. Leapfrog Geo User Guide. Version 2024.1. – Christchurch: Seequent Ltd., 2024.
13. Bearman R.A., Bowman D.J., Dunne R. Decision Support for Ore Sorting and Preconcentration in Gold Applications // Mineral Processing and Extractive Metallurgy. – 2020. – Vol. 129. – No. 3. – P. 140–151.
14. Surimbayev B., Kim Y., Kim S. et al. Gravity Concentration of Gold-Bearing Ores and Processing of Concentrates: A Review // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2025. – Vol. 46. – No. 2. – P. 156–184.

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Atakuziev Umid Azamjonovich	–	Head of the Mining Industry Development Department under the Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan, 100164, Uzbekistan, Tashkent City, Mirzo-Ulugbek District, 49 Olimlar Street. E-mail: info@mingeo.uz ORCID ID: https://orcid.org/0009-0006-0568-4052
Raimjanov Bakhadirjan Raimjanovich	–	Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Branch of the National University of Science and Technology MISIS, 110105, Almalyk, Uzbekistan. E-mail: afnitumisis@mail.ru ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0395-1181
Khasanov Aleksey Rashidovich	–	Head of the Mining Operations Research Laboratory, O'zGEORANGMETLITI LLC, Tashkent, Uzbekistan. E-mail: Khasanov@georang.uz ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6511-213X

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ
КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ В ГЛУБОКИХ КАРЬЕРАХ****Умаров Ф.Я., Каримов Ш.В., Туйчибоев Э.И.**

*Филиал Национального исследовательского технологического университета «МИСИС» в г. Алмалык,
Узбекистан*

Doi: 10.5281/zenodo.21590594

АННОТАЦИЯ

В статье построена математическая модель повышения часовой производительности карьерных автосамосвалов в глубоких карьерах путём совместной оптимизации двух управляемых факторов - коэффициента наполнения ковша (через гранулометрический состав взорванной горной массы) и времени рейса автосамосвала (через плечо откатки). Аналитическим исследованием функций наполнения, производительности и времени загрузки на экстремум установлено, что максимум наполнения ковша достигается при среднем размере куска $X_{50} = 550$ мм, максимум производительности экскаватора - при 505 мм, а минимум времени загрузки автосамосвала - при 350 мм; согласованный рабочий диапазон крупности составляет 350–550 мм. По физически обоснованной функциональной модели расхода дизельного топлива методом коэффициентов нагружения получена линейная зависимость расхода топлива за рейс от плеча откатки $Q_{\text{рейс}} = \alpha + \beta \cdot L$, откалиброванная по автотранспортному балансу карьера Кальмакыр за 2024 г. с погрешностью $\leq 1,9$ %. Сокращение плеча откатки с 4,5 до 2,0 км повышает производительность автосамосвала и снижает расход топлива на 41 %. Поскольку оба фактора действуют на разные сомножители производительности, их эффекты мультипликативны, что обосновывает совместную оптимизацию. Объекты - карьеры Кальмакыр АО «Алмалыкский ГМК» и Мурунтау АО «НГМК».

**КЛЮЧЕВЫЕ
СЛОВА**

карьерный автосамосвал, производительность, гранулометрический состав, коэффициент наполнения ковша, плечо откатки, расход дизельного топлива, метод коэффициентов нагружения, совместная оптимизация, математическое моделирование.