

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ / THEORETICAL FOUNDATIONS FOR THE DESIGN OF MINING SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25>

ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ ОТРАБОТКИ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА И АНАЛИЗ ПРЕДЛОЖЕННЫХ РЕШЕНИЙ ПО СТРАТЕГИЧЕСКОМУ РАЗВИТИЮ ГОРНЫХ РАБОТ

Научная статья

Лифарь-Лаптев А.А.^{1,*}

¹ Университет науки и технологий МИСИС, Москва, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (lifarlaptevaa[at]edu.misis.ru)

Аннотация

Основными положениями производства горных работ, для достижения наилучших технико-экономических показателей, является применение современного горнотранспортного оборудования, увеличение его средней мощности, обеспечение соответствия рабочим параметрам при выполнении основных технологических процессов: бурения, взрывания, выемочно-погрузочных работ, транспортирования, отвалообразования, изменения производственных условий и постоянное совершенствование технологий. Результаты проведенной работы с очевидностью подтверждают наличие серьёзных экономических оснований для дальнейшего инвестирования в разработку глубоких горизонтов месторождения, включая переход на подземный способ разработки месторождения и как следствие строительство подземного рудника. Тем не менее, на первоначальном этапе крайне важно выполнить детальное планирование перехода от открытых горных работ к подземным. В связи с этим в данной работе, на базе результатов оценки сырьевой базы месторождения, изучения массива горных пород и исследования их прочностных характеристик выполнен анализ перспективных решений по продолжению горных работ на месторождении комбинированным открыто-подземным способом в условиях последующей отработки месторождения и перехода только на подземную добычу. Рассмотрены несколько вариантов отработки месторождения в период 2024–2036 гг. Для достижения высокой производственной мощности карьера по руде и оптимального распределения объемов вскрышных работ предложено проводить горные работы в два горнотехнических этапа. Данный анализ является актуальным на сегодняшний день и может быть рассмотрен в перспективе.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, подземная разработка, вскрышные породы, потери, разубоживание, производительность, поэтажное обрушение, глубокие горизонты, транспортирование.

REVIEW OF THE CURRENT STATE OF MINING OF THE YENISEI RANGE AND ANALYSIS OF PROPOSED SOLUTIONS FOR THE STRATEGIC DEVELOPMENT OF MINE

Research article

Lifar-Laptev A.A.^{1,*}

¹ The National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

* Corresponding author (lifarlaptevaa[at]edu.misis.ru)

Abstract

The main provisions of mining operations to achieve the best technical and economic indicators are the use of modern mining and transport equipment, increasing its average capacity, ensuring compliance with operating parameters when performing the main technological processes: drilling, blasting, extraction and loading operations, transportation, dumping, changing production conditions and continuous improvement of technologies. The results of the work performed clearly confirm the presence of serious economic grounds for further investment in the development of deep horizons of the deposit, including the transition to an underground method of deposit development and, consequently, the construction of an underground mine. Nevertheless, at the initial stage, it is extremely important to carry out detailed planning of the transition from open-pit mining to underground. In this work, based on the results of the assessment of the raw material base of the deposit, the study of the rock massif and the study of their strength characteristics an analysis of promising solutions for continuing mining operations at the deposit using a combined open-pit and underground method in the context of subsequent development of the deposit and the transition only to underground mining is performed. Several options for developing the deposit in the period 2024–2036 were considered. To achieve high quarry production capacity for ore and optimal distribution of overburden volumes, it was proposed to conduct mining operations in two mining and technical stages. This analysis is relevant today and can be considered in the future.

Keywords: gold deposit, open pit mining, overburden, losses, dilution, productivity, sublevel caving, deep horizons, transportation.

Введение

Основная научная проблема горных работ на месторождениях, с глубиной отработки открытым способом более 900 метров, заключается в приближении этапа перехода разработки на подземный способ добычи. В связи с

экономической нецелесообразностью и отсутствия технической возможности отработки открытым способом, перед горным предприятием определены следующие цели, требующие научного обоснования [1], [2], [3]:

1) изыскание путей ускорения вскрытия запасов для подземного рудника с учетом минимальных потерь руды;

2) первоочередная отработка прибортовых запасов действующего карьера, исходя из условий, для дальнейшего перехода на подземную добычу;

3) разработка графиков объемов добычи по нескольким вариантам отработки действующего карьера.

В работе также обоснована необходимость разработки прибортовых запасов до окончания горных работ в карьере в связи со следующими причинами:

- сложность обеспечения полноты выемки прибортовых запасов при их разработке одновременно с добычей подкарьерных запасов, в результате подработки;

- необходимость ускорения вскрытия запасов верхних горизонтов подземного рудника.

Анализ, изложенный в данной работе, напрямую коррелирует с действующей практикой вскрытия и отработки прибортовых и подкарьерных запасов при комбинированной разработке месторождений и поиском оптимальных вариантов, проведенных в предыдущих НИР [4], [5], [6], [7], [8], который показал следующее:

- вскрытие основных запасов под глубокими карьерами осуществляется преимущественно вертикальными стволами [9];

- вскрытие прибортовых запасов чаще всего осуществляется из карьерного пространства штольнями и уклонами, чем обеспечивается ускорение ввода в эксплуатацию подземного рудника и снижение объемов горно-капитальных выработок [10];

- динамика развития подземных горных работ зависит в основном от применяемых на подземном руднике систем разработки, угла падения и протяженности залежи;

- наиболее предпочтительными системами подземной разработки при комбинированном совместном способе являются системы с закладкой выработанного пространства [11]. Применение их возможно при любом угле падения рудных тел;

- системы разработки с обрушением руды и вмещающих пород на крутопадающих залежах ограничивают возможность совместного способа разработки;

- при наклонном залегании рудных тел и достаточно большой протяженности по падению возможно совмещение открытого способа разработки с подземным на основе систем с обрушением;

- отработка запасов в бортах карьера одновременно с работой в карьере, как правило, ведется в нерабочем борту. При отсутствии такого нерабочего борта данные запасы обрабатываются системами с закладкой, в основном твердеющей, или системами с открытым выработанным пространством, при достаточной устойчивости рудного массива;

- отработка прибортовых запасов ведется от массива в сторону карьера.

Анализ и предлагаемые решения

В данной работе научно обоснованы параметры, которые показали, что целесообразно продолжить отработку месторождения комбинированным способом в пределах IV и V очереди карьера «Восточный», а также подземного рудника. Результаты работы обобщены в настоящем разделе статьи. В работе выполнено планирование горных работ на срок разработки месторождения по вариантам цикличной (рисунок 1, на базе экскаваторно-автомобильных комплексов) и циклично-поточной (рисунок 2 с конвейерными системами и внутрикарьерным дроблением вскрышных пород) технологий. Заданная производственная мощность по руде составляет: 12,5 млн т – в 2019 году; 13,4 млн т – в 2024 году; 14 млн т – в 2024 году; 15 млн т. – после 2026 года. Соответствующие этому ограничения по среднему содержанию металлов в руде: Au – от 2,7 до 4,5 г/т; As – менее 0,35%; С – менее 4,5% [12], [13].

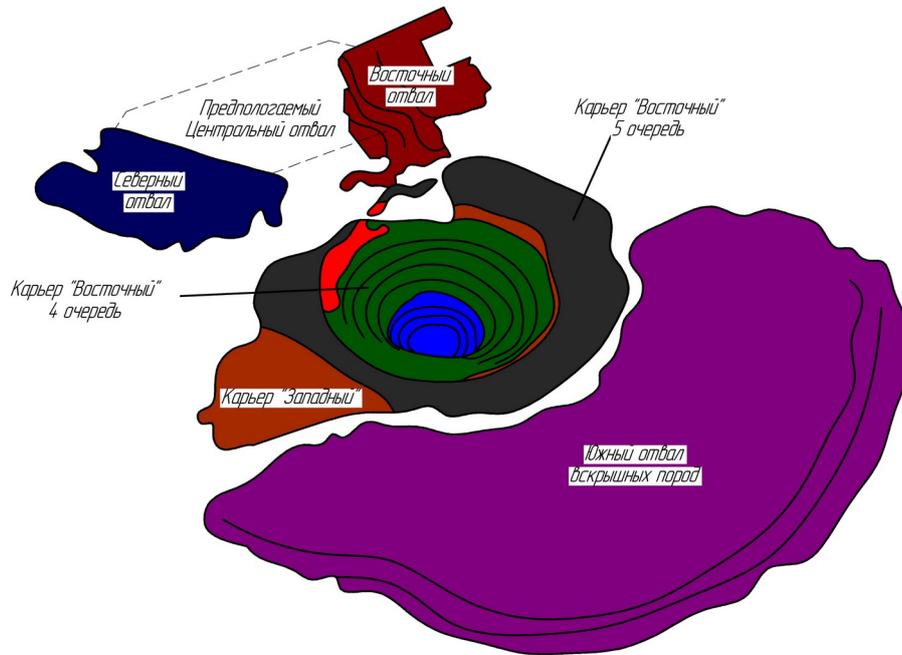


Рисунок 1 - Схема карьера и отвалов по варианту цикличной технологии
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.1>

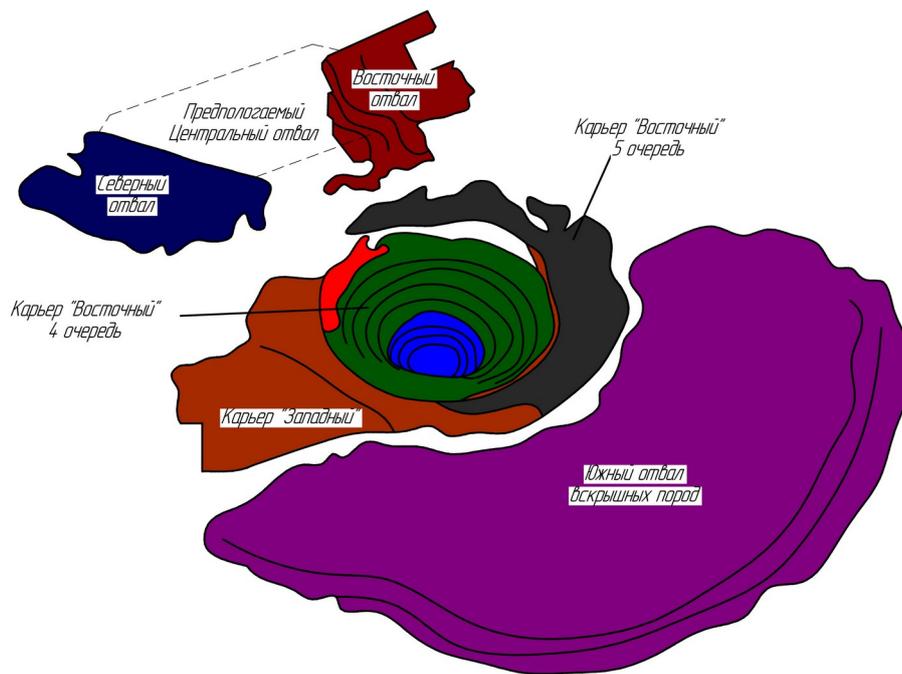


Рисунок 2 - Схема карьера и отвалов по варианту циклично-поточной технологии
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.2>

Полученные повариантные результаты проектирования представлены на рисунках 3–8 и сведены в таблицу 1. Для обеспечения заданных условий годовые темпы понижения горных работ в границах III и IV очереди карьера «Восточный» должны составлять (рекомендуется) до 9 уступов.

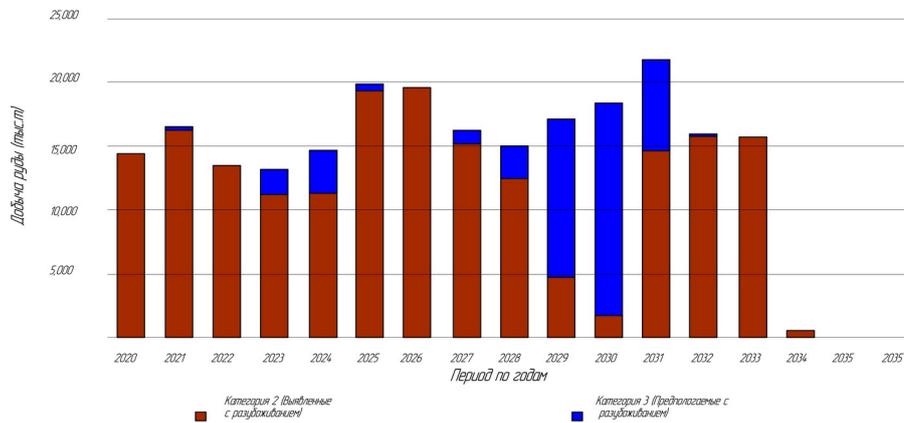


Рисунок 3 - Динамика объемов добычи руды с разделением по категориям для варианта цикличной технологии
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.3>

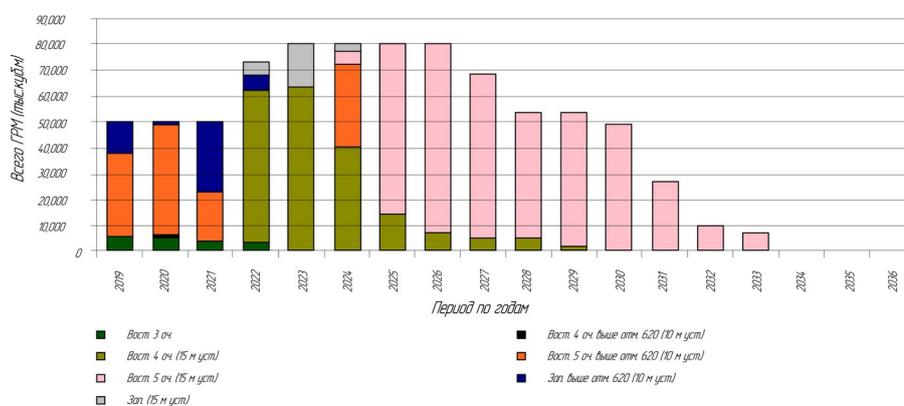


Рисунок 4 - Динамика календарных объемов горной массы (ГРМ) с разделением по очередям и участкам карьера (вариант цикличной технологии)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.4>

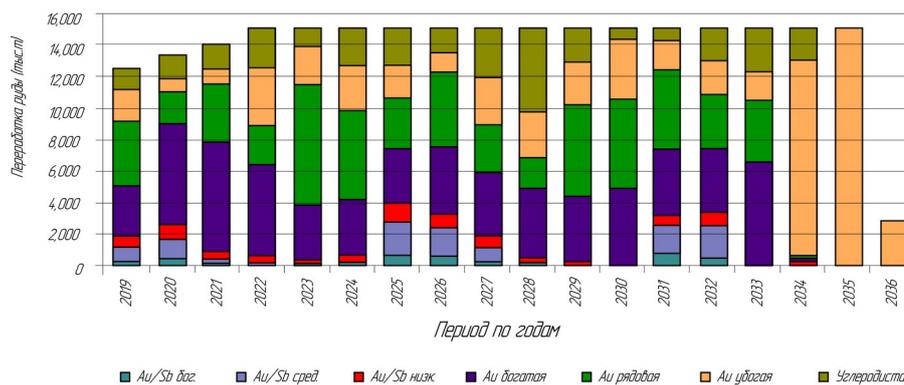


Рисунок 5 - Динамика объемов перерабатываемой руды с разделением по типам (вариант цикличной технологии)
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.5>

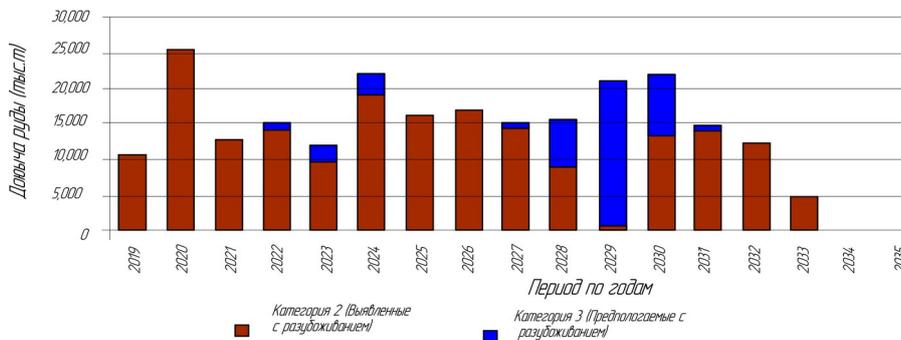


Рисунок 6 - Динамика объемов добычи руды с разделением по категориям для варианта циклично-поточной технологии

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.6>

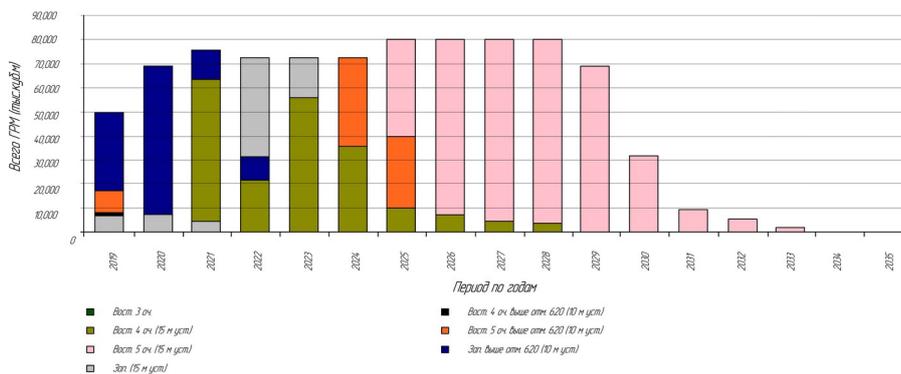


Рисунок 7 - Динамика календарных объемов горной массы (ГПМ) с разделением по очередям и участкам карьера (вариант циклично-поточной технологии)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.7>

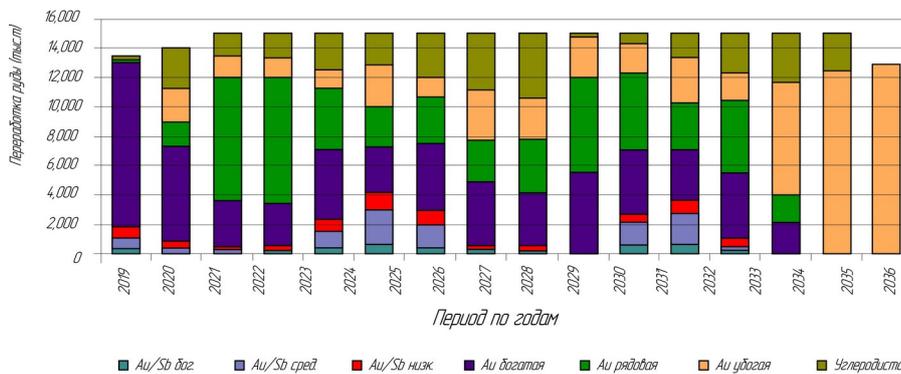


Рисунок 8 - Динамика объемов перерабатываемой руды с разделением по типам (вариант циклично-поточной технологии)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.8>

Также в данном разделе статьи приведены результаты оценки организации циклично-поточной технологии с внутрикарьерным дроблением. Основные характеристики принятого комплекса циклично-поточного транспортирования (далее ЦПТ): производительность – порядка 204 млн т/год (34 500 т/час) и стоимость – около 354 млн \$ США. При этом эффективность использования конвейерных систем зависит от следующих факторов:

- масштабы добычи;
- цены на дизельное топливо;
- цены на энергоресурсы;
- трудозатраты;
- стоимости привлечения капитала;
- геометрические параметры рудного тела;
- доступность необходимого количества электроэнергии.

С учетом этого был сделан вывод, что эффект от применения ЦПТ возникает при глубине перевозок от поверхности порядка 100-130м, и в первую очередь это обусловлено высоким коэффициентом вскрыши на верхних горизонтах карьера (рисунок 9).

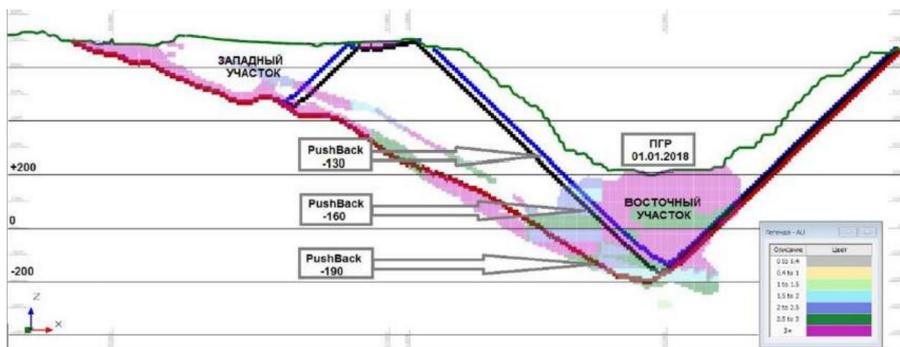


Рисунок 9 - Схема границ V очереди карьера «Восточный» до отметок -130м, -160 м и -190 м
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.9>

Таблица 1 - Результаты стратегического планирования горных работ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.10>

Параметры	ЕИ	Значения по варианту цикличной технологии	Значения по варианту циклично-поточной технологии
Срок горных работ в карьере	лет	16	15
Срок переработки руды на ЗИФ	лет	18	17
Объем горной массы	млн м ³ /год	80	80
Объем перерабатываемой руды на ЗИФ	млн т	252,76	247,75
Чистый дисконтированный доход	млн долл. США	3393	3237

Данные таблицы 1 показали наибольшую эффективность варианта с цикличной технологией в связи с величиной инвестиций, необходимых для приобретения оборудования. С учетом этого были предложены следующие рекомендации: уменьшить объемы работ по участку «Западный» в первые периоды; оценить эффект от возможного изменения схемы размещения отвалов; проработать вопросы оптимизации схемы выделения очередей и этапов в предельных границах карьера; оценить возможное изменение показателей интенсивности горных работ.

Концептуальный план первоначального размещения ЦПТ на отм. +590 м с последующим переносом на отм. +440 м приведен на рисунке 10. Красной линией здесь показано первоначальное расположение конвейера для формирования вскрышных пород на отм. +830 м, а зеленой линией расположение конвейера для формирования отвала на отм. +790 м.

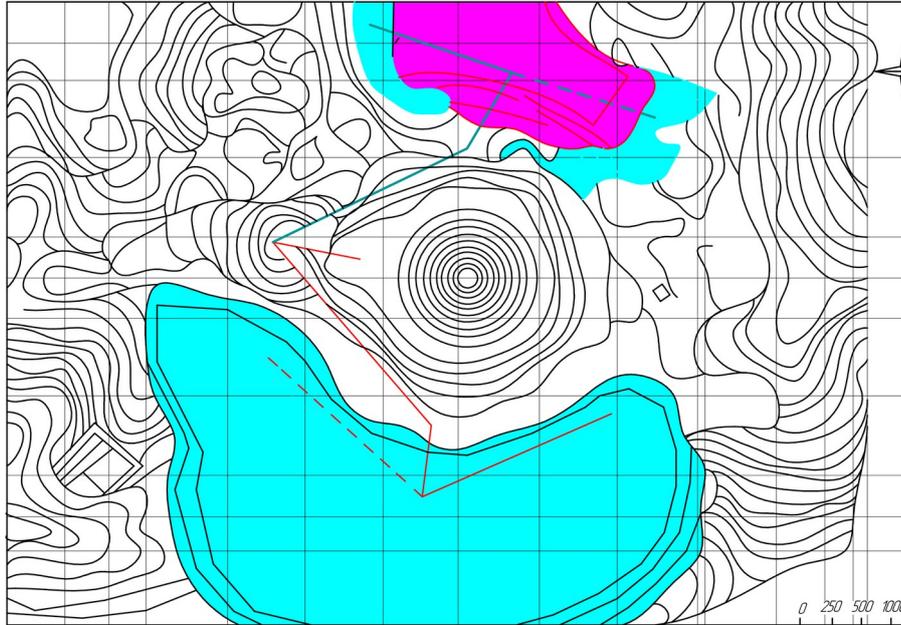


Рисунок 10 - Концептуальная схема размещения ЦПТ в плане
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.11>

Динамика объемов складирования вскрышных пород с использованием оборудования ЦПТ приведена в таблице 2

Таблица 2 - Объемы вскрыши, транспортируемые ЦПТ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.12>

Год	Производительность ЦПТ (млн т.)
2021	0
2022	0
2023	0
2024	0
2025	108
2026	198
2027	203
2028	203
2029	169
2030	66
2031	11
2032	3
2033	1
2034	0
Всего	964

С учетом высокой производительности конвейерной системы предложены следующие варианты компоновки:

Вариант 1 – одна конвейерная линия с шириной ленты 3 м, эксплуатационной скоростью 6,73 м/с и пропускной способностью 34 500 т/час;

Вариант 2 – две конвейерных линии с шириной ленты 2,4 м каждая, эксплуатационной скоростью 5,97 м/с и пропускной способностью 17 250 т/час.

При этом по результатам инженерно-технического анализа вариант 2 выбран в качестве базового. Использование двух конвейерных линий позволяет применять более узкую ленту при меньшей скорости ее движения. Это снижает риски в случае поломки одной из линий и повышает техническую надежность транспортной системы карьера в целом. Для обеспечения возможности транспортирования пород со средней прочностью на сжатие около 100–150 МПа необходимо их дробление, даже после производства взрывных работ [14], [15], [16]. В связи с этим в работе приведен ряд подходящих моделей дробилок гирационного, щекового, молоткового и валкового («сайзер») типов. Вместе с тем, с учетом требуемой производительности в качестве основных для условий месторождения выбраны типа «сайзер»,

либо гирационная. Исходя из объемов дробления пород и производительности парка автосамосвалов, расчетное количество отдельно расположенных пунктов разгрузки автосамосвалов – девять.

Таким образом, выполненная оценка в данной работе выявила следующие основные риски внедрения ЦПТ:

- 1) большие инвестиции;
- 2) высокое влияние прочностных характеристик транспортируемых пород;
- 3) ограничения по мощности источника электроснабжения; Большая вероятность роста затрат на электроснабжение [17];
- 4) малая мобильность при интенсивном подвигании фронта горных работ;
- 5) высокая чувствительность к технической надежности во всех цепочках конвейерной системы;
- 6) необходимость содержания на складе большого количества запасных частей.

Основа ключевого решения – это определение области перехода от открытых горных работ к подземным [18], [19], [20]. В области комбинированной разработки месторождения является обоснование границ карьера с использованием алгоритма Лерча – Гроссмана. При этом было оценено три основных варианта с различием систем и затрат: углубочная открытая и блочного обрушения подземная; углубочная открытая и подэтажного обрушения подземная; углубочная открытая и подэтажно-камерная подземная [21], [22]. Полученные оболочки карьера, при которых затраты открытого способа разработки превысили затраты подземного способа проиллюстрированы на рисунке 11.

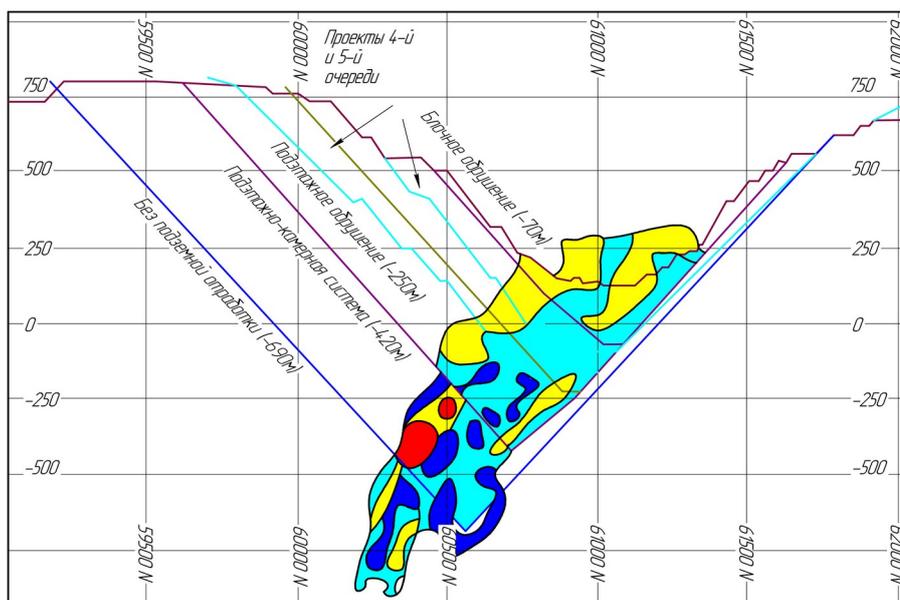


Рисунок 11 - Иллюстрация оболочек карьера для перехода на подземную разработку месторождения
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.13>

Здесь, в случае подземной разработки блочным обрушением граница перехода соответствует отметке -70 м с продлением срока добычи запасов на 5 лет. При разработке подэтажным обрушением граница расположена на отметке -240 м, что позволяет продлить срок добычи до 18 лет. При разработке подэтажно-камерной системой граница соответствует отметке -420 м с продлением срока добычи до 26 лет. Кроме того, дополнительно выполнены обоснования и с использованием традиционных подходов по различным сценариям (таблица 3, рисунок 12).

Таблица 3 - Результаты обоснования оболочек карьера

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.14>

№ оболочки карьера	Коэффициент выручки	Фактическая цена на золото, \$US/унц	Отметка дна карьера, м
12	0,52	624	-140
13	0,54	648	-160
14	0,56	672	-170
15	0,58	696	-190
16	0,60	720	-250

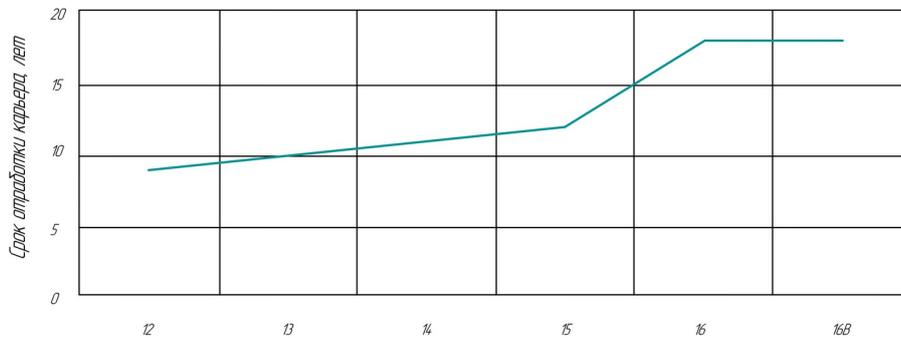


Рисунок 12 - Срок открытой разработки месторождения по оболочкам карьера
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.15>

По обоснованным оболочкам карьера было выполнено уточнение и построение его контура, исходя условия обеспечения в схеме вскрытия двух транспортных выездов на поверхность и параметров, представленных в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры конструкции бортов карьера

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.16>

Наименование параметров	Значение, м
Высота уступа	15
Высота уступа в конечном положении	30
Ширина транспортной бермы с двухсторонним движением автосамосвалов	34
Ширина транспортной бермы с односторонним движением автосамосвалов	27
Минимальная ширина площадки для расконсервации бортов	60
Минимальная ширина дна карьера	100

По полученным результатам, сформированы объемные показатели, которые сведены в таблице 5.

Таблица 5 - Объемные показатели в предельном контуре карьера

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.17>

Очередь	Руда, млн т	Au, г/т	Sb, %	Пустая порода, млн т	Коэффициент вскрыши, П:Р
III	19,1	3,4	0,20	1,5	0,1
IV, 1 этап	72,5	2,8	0,14	340	4,7
IV, 2 этап	21,7	2,6	-	117	5,4
V	88,1	2,8	0,18	1167	13,3
Итого	201,4	2,9	0,10	1625	8,1

Таким образом, общий объем руды, добываемой в границах карьера до отметки – 190 м и подаваемой на ЗИФ составит около 201,4 млн т.

Ключевыми исходными условиями для календарного планирования являются: достижение объемов руды, подаваемой на переработку в 2024 и 2025 году на уровне 13,4 млн т/год и повышение с 2026 года до 15 млн т; ограничения по темпам понижения горных работ – до 150 м/год (при высоте уступа 15 м). Сводная информация результатов календарного планирования представлена в таблице 6 и на рисунках 13–15.

Таблица 6 - Отметки положения уступов карьера по годам и очередям

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.18>

Очередь	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
III	125	80	20	10	-	-	-	-	-	-	-

Очередь	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
IV, 1 этап	485	395	290	155	110	50	5	-55	-85	-	-
IV, 2 этап	645	585	510	500	-	-	-	-	-	-	-
V	-	740	695	630	530	425	305	200	65	-85	-190

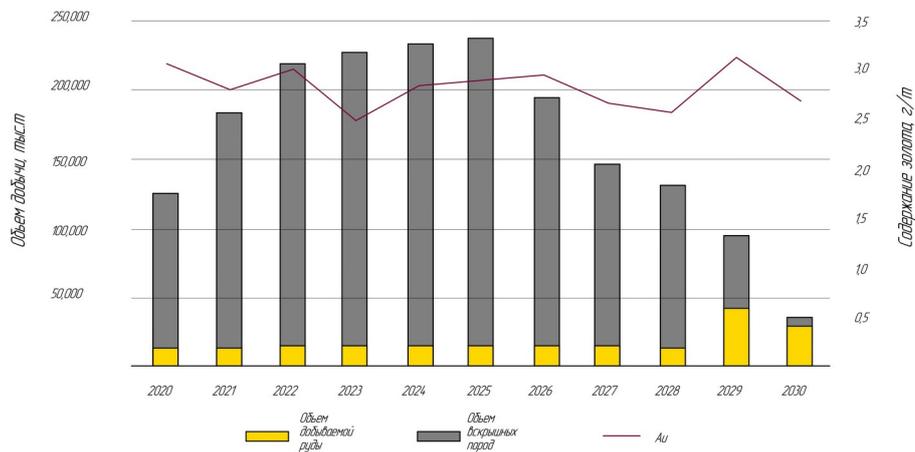


Рисунок 13 - Динамика календарных объемов горных работ по карьеру
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.19>

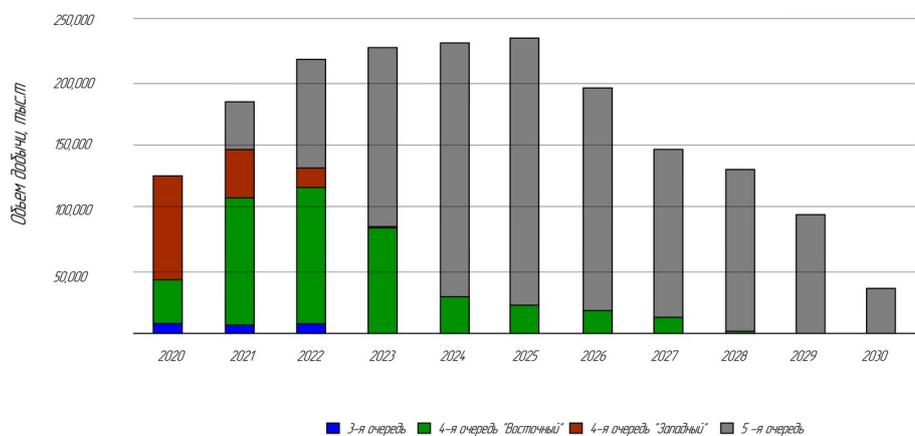


Рисунок 14 - Распределение объемов работ по очередям карьера
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.20>

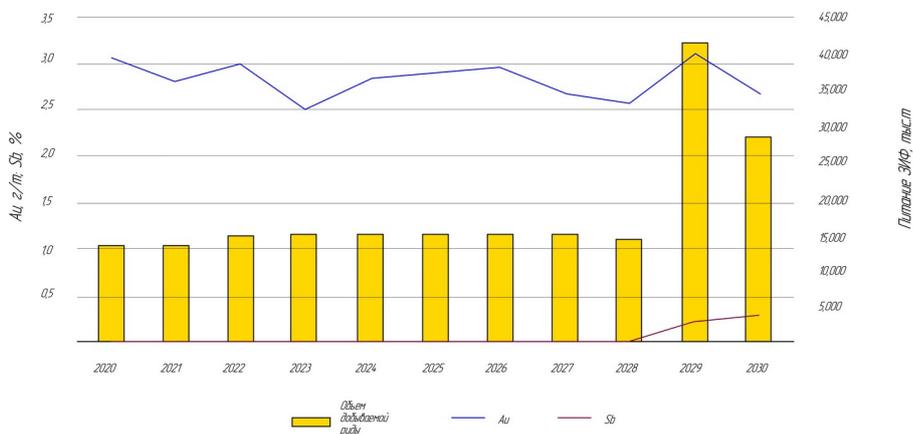


Рисунок 15 - Динамика объемов руды и металла, подаваемых на ЗИФ
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.21>

Необходимое количество экскаваторов и автосамосвалов для выполнения рассчитанных объемов показано на графиках (рисунки 16, 17). Для расчета производительности и количества экскаваторно-автомобильных комплексов оборудования учтено количество циклов загрузки автосамосвала, время выполнения операций по циклам, а также техническая готовность оборудования и эффективное использование рабочего времени операторов. Причем время цикла транспортирования для каждого временного периода рассчитаны исходя из положения забоев в пределах очередей карьеров и отвалов/ЗИФ на поверхности.

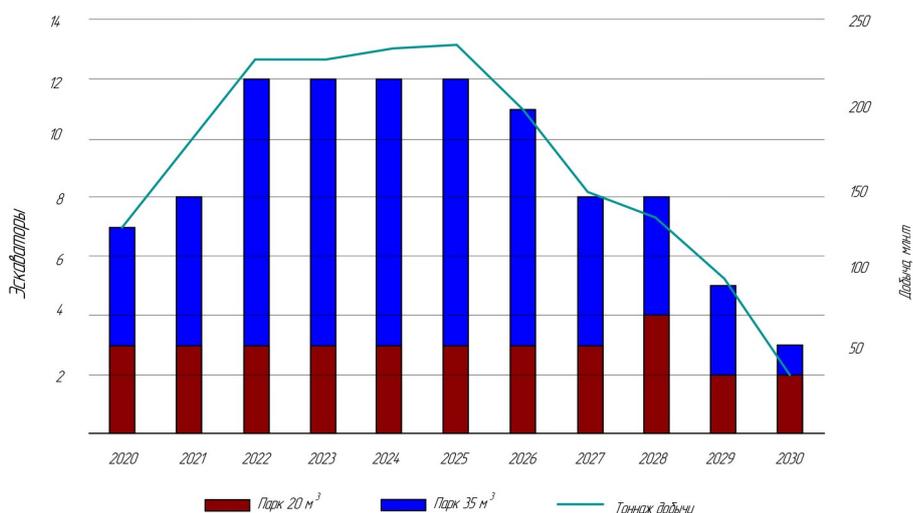


Рисунок 16 - Расчетная динамика объемов работ и списочного количества экскаваторов
 DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.22>

Полученная средняя динамика эксплуатационных затрат на горные работы представлена на рисунке 18. Всего за срок работы карьера средняя себестоимость добычи руды оставила 2,07 \$US/т, а себестоимость вскрышных работ около 1,73 \$US/т.

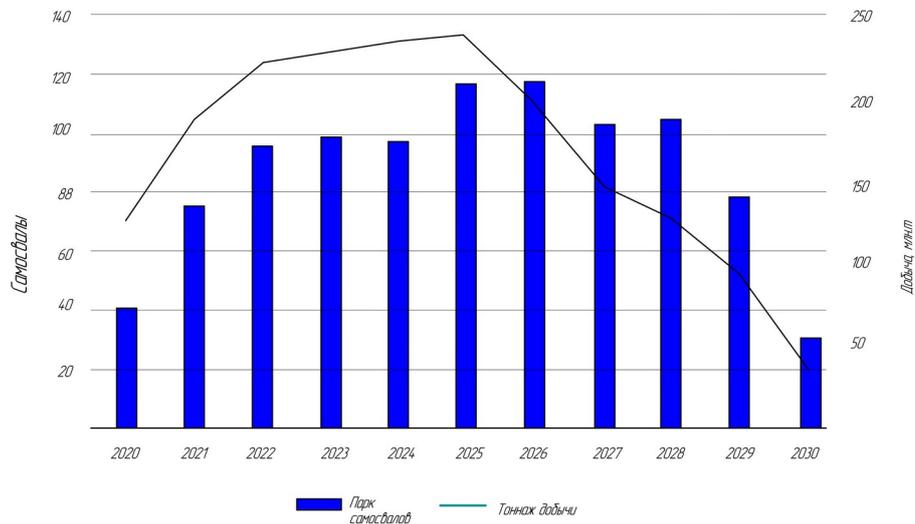


Рисунок 17 - Расчетная динамика объемов работ и списочного количества автосамосвалов
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.23>

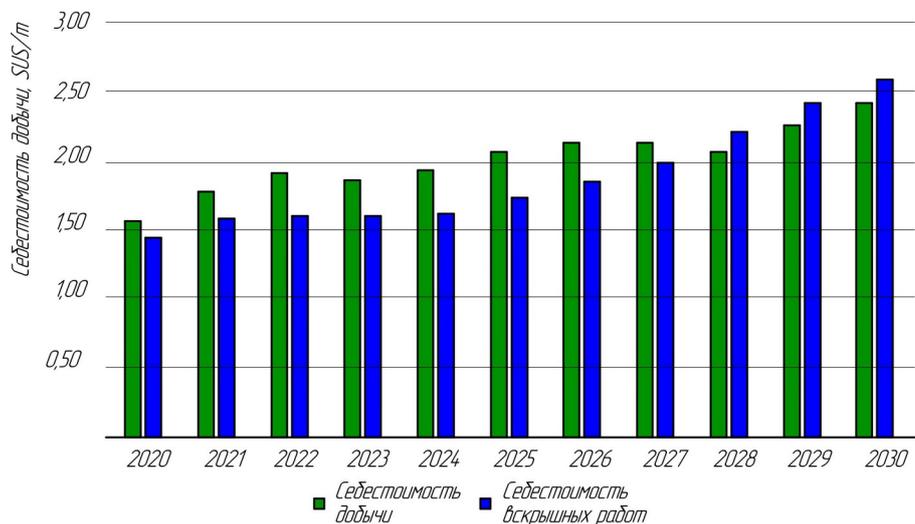


Рисунок 18 - Себестоимость добычи по периодам
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.151.25.24>

Исходя из полученных расчетных сроков окупания затрат и стоимости строительства, можно сделать вывод, что для условий IV очереди карьера эффективность применения комплекса циклично-поточной технологии (ЦПТ) целесообразно определить по следующим ключевым шести вариантам:

Базовый – только с автосамосвалами;

Вариант 1 – поверхностная ЦПТ по западному борту карьера с учетом подземной ЦПТ для перевозки вскрышных пород.

Вариант 2 – поверхностная ЦПТ по южному борту карьера с учетом подземной ЦПТ для перевозки вскрышных пород.

Вариант 3 – поверхностная ЦПТ только для перевозки вскрышных пород.

Вариант 4 – поверхностная ЦПТ для перевозки вскрышных пород и руды (только для неиспользуемых мощностей).

Вариант 5 – поверхностная ЦПТ с учетом подземной ЦПТ для перевозки вскрышных пород и руды (только для неиспользуемых мощностей).

Заключение

На основании полученных результатов, предлагаются следующие три перспективных варианта отработки действующего карьера для благоприятного, с экономической точки зрения, дальнейшего перехода на подземный способ отработки месторождения:

Вариант 1 – с отметкой дна -190м, автомобильным транспортом и циклической технологией. По данному варианту дно карьера соответствует отметке -190м. В глубинной части углы откоса уступов увеличены до 83° (с отметки -10м до -190м). Производственная мощность по руде задана на уровне 15,0 млн т/год с 2026 года. Максимальная годовая производительность по горной массе – 79 млн м3/год. Период ведения горных работ до 2034 года. Срок переработки

добытых запасов руды на ЗИФ – до 2035 года. Транспортирование руды и вскрыши осуществляется автомобильным транспортом. Результаты расчета транспортной работы и потребное количество горнотранспортного оборудования будут рассмотрены в отдельной работе.

Вариант 2 – с отметкой дна -190м, совмещением границы IV и V очереди по северному борту, автомобильным транспортом и тоннельной конвейерной системой ЦПТ. Данный вариант принят к рассмотрению на базе варианта 1. Здесь дно карьера также соответствует отметке -190м, а в глубинной части с отметки -10м до -190м углы откоса уступов увеличены до 83°. Вместе с тем для оптимизации объемов вскрышных работ предлагается изменить положение борта карьера. В сравнении с вариантом 1 это позволит сократить общие объемы вскрыши в контуре карьера около 36 млн м³, и снизить максимальную производительность карьера по горной массе с 79 до 78 млн м³. Календарный план горных работ и график переработки руды по данному варианту будет предоставлен в отдельной статье. В соответствии с этим, при заданной производственной мощности по руде 15,0 млн т/год с 2026 года срок ведения горных работ составляет до 2033 года, срок переработки руды на ЗИФ – до 2035 года. Транспортирование горной массы по этому варианту осуществляется автосамосвалами и конвейерными системами. Начало работы комплекса ЦПТ – 2026 год, планируемый объем перевозок вскрыши из контура IV и V очереди составляет 441 млн м³. Место расположения приемного бункера – площадка в южной части карьера на отметке +420 м. Производительность комплекса ЦПТ в 2026 году равна 30,6 млн м³, в период 2026-2029 гг. составляет 43,9-70,5 млн м³/год. В 2029 году при достижении горными работами в границах V очереди отметки +470м эксплуатация комплекса ЦПТ прекращается. При этом годовая производительность составит 45,7 млн м³, а срок эксплуатации 7,5 месяцев. В 2029 году необходимо завершить монтаж приемного бункера ЦПТ в контуре V очереди на отметке +410 м. При этом сценарии производительность около 41,1 млн м³ и время работы ЦПТ составит 6,5 месяцев. Уже к 2030 году производительность комплекса достигнет значения 53,7 млн м³. Далее, при затухании горных работ, произойдет ее снижение.

Вариант 3 – с отметкой дна -250 м, автомобильным транспортом и тоннельной конвейерной системой ЦПТ. Данный вариант принят к оценке на базе вариантов 1 и 2. При этом дно карьера соответствует отметке -250 м. В глубинной части с отметки +200 м до -250 м углы откоса уступов необходимо увеличить до 83°. С учетом этого период горных работ будет продлен до 2034 года, а срок переработки руды до 2037 года. Транспортирование части вскрышных пород осуществляется конвейерным транспортом, располагаемым на поверхности и в подземных выработках. Начало работы комплекса ЦПТ – 2024 год, а планируемый объем перевозок вскрыши из контура IV и V очереди будет составлять 492 млн м³. Производственная мощность по руде необходимо задать на уровне 15,0 млн т/год. Транспортную работу здесь также необходимо выполнять автосамосвалами и конвейерными системами. Задать место расположения приемного бункера – площадка в южной части карьера на отметке +420 м. Производительность комплекса ЦПТ в 2024 году будет равна 32,8 млн м³, а в период 2025–2028 гг. составляет 45–71,5 млн м³.

В 2029 году при достижении горными работами в границах V очереди отметки +470 м эксплуатация комплекса ЦПТ прекращается. При этом годовая производительность составит 44 млн м³, а срок эксплуатации 7,5 месяцев.

В 2030 необходимо завершить монтаж приемного бункера ЦПТ в контуре V очереди, на отметке +410м. При производительности около 52 млн м³ время работы ЦПТ составит 6,5 месяцев. В 2030 году производительность комплекса достигнет значения 67,3 млн м³. Далее, при затухании горных работ, также произойдет ее снижение.

Для определения оптимального варианта, для каждого требуется составление календарного плана горных работ, графика переработки руды, расчет потребности в горнотранспортном оборудовании. На данный момент производится расчет данных параметров с возможностью дальнейшей публикации полученных результатов в отдельной статье.

Благодарности

Автор выражает особую благодарность своему научному руководителю, доктору технических наук, профессору Савичу Игорю Николаевичу за профессиональный опыт и руководство. Также выражается благодарность профессорско-преподавательскому составу кафедры Геотехнологии освоения недр ГИ НИТУ «МИСиС» за консультацию и всестороннюю помощь.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Acknowledgement

The author expresses their special gratitude to their supervisor, Doctor of Technical Sciences, Professor Savich Igor Nikolayevich for his professional experience and guidance. They are also grateful to the teaching staff of the Department of Geotechnology of Subsoil Exploration, MI SRTU "MISIS" for advice and extensive assistance.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Горностаева А.А. Динамика развития золотодобывающей промышленности Красноярского края на примере Олимпиадинского месторождения / А.А. Горностаева // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования : Материалы XV Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвященной 140-летию со дня рождения геолога и краеведа Вячеслава Петровича Косованова. — Красноярск : Красноярский государственный педагогический университет им. В. П. Астафьева, 2020. — С. 155–157.

2. Булгаков С.В. Технология переработки золото-сурьмяных руд месторождения "Олимпиадинское" с получением товарного сурьмяного и золотосодержащего флотоконцентратов / С.В. Булгаков, З.П. Кузина, Р.Г. Елизаров [и др.] // Цветные металлы и минералы : Сборник тезисов докладов Восьмого международного конгресса. — 2016. — С. 458–459.
3. Фоминых М.Н. Минерально-сырьевая база компании "Полус Красноярск" / М.Н. Фоминых, В.А. Карпов, С.С. Ильин // Горный журнал. — 2020. — № 10. — С. 20–25. ISSN 0017–2278.
4. Казикаев Д.М. Исследование проявлений горного давления при одновременной разработке месторождения открытым и подземным способами: (На примере Зырянского месторождения) : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Моск. ин-т радиоэлектроники и горной электромеханики. — Москва, 1964. — 14 с.
5. Антипин Ю.Г. Оптимизация параметров подземной геотехнологии отработки подкарьерных запасов рудных месторождений методом экономико-математического моделирования / Ю.Г. Антипин, К.В. Барановский, А.А. Рожков [и др.] // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. — 2022. — Т. 20. — № 2. — С. 23–35. DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-2-23-35.
6. Бурмистров К.В. Многокритериальный анализ стратегий устойчивого развития глубоких карьеров / К.В. Бурмистров, Н.А. Осинцев, А.Н. Рахмангулов [и др.] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2023. — Т. 334. — № 12. — С. 76–96. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4223.
7. Пивень Г.Ф. Обоснование условий эффективного перехода от открытых горных работ к подземным при комбинированной разработке кимберлитовых трубок : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Московский государственный горный университет. — Москва, 2012.
8. Пивень Г.Ф. Переход к подземной разработке законтурных запасов карьеров на кимберлитовых трубках / Г.Ф. Пивень, И.Н. Савич // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2010. — № 5. — С. 230–233.
9. Савич И.Н. Перспективы применения систем с самообрушением руды при искусственном днище блоков на глубоких горизонтах Донского хромитового рудника / И.Н. Савич, Д.К. Бекбергенов, Р.Ш. Насыров [и др.] // Горный журнал. — 2022. — № 2. — С. 35–40. DOI: 10.17580/GZH.2022.02.06.
10. Гавришев С.Е. Обоснование параметров откосов бортов с учетом реконструкции карьера Светлинского золоторудного месторождения / С.Е. Гавришев, В.Ю. Заляднов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2021. — № 3. — С. 141–152.
11. Лифарь-Лаптев А.А. Обоснование возможности увеличения производственной мощности Кировского рудника в соответствии с горногеологическими и горнотехническими условиями отработки месторождения / А.А. Лифарь-Лаптев, М.О. Сыренов, А.М. Яковлев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2020. — № 516. — С. 3–15. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-16-3-15.
12. Неволько П.А. Физико-химические условия формирования золото-сурьмяной минерализации на золоторудных месторождениях Енисейского края / П.А. Неволько // Металлогения древних и современных океанов. — 2006. — № 1. — С. 180–185.
13. Ордин А.А. Оптимизация проектной мощности золоторудного карьера на основе лагового моделирования / А.А. Ордин, И.В. Васильев // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2021. — № 2. — С. 71–80. DOI: 10.15372/FTPRP120210208.
14. Бондаренко И.Ф. Буровзрывные работы на кимберлитовых карьерах Якутии / И.Ф. Бондаренко, С.Н. Жариков, И.В. Зырянов [и др.]. — Екатеринбург, 2017. — 172 с. ISBN 978-5-7691-2481-5.
15. Дашкевич Е.Г. Минералого-геохимические особенности руд и физико-химические условия формирования Попутнинского золоторудного месторождения (Енисейский край) / Е.Г. Дашкевич, П.А. Неволько, А.Л. Тимкина // Металлогения древних и современных океанов. — 2011. — № 1. — С. 214–218.
16. Козырев А.А. Экспериментальные определения параметров напряженного состояния прибортового массива пород карьера "Восточный" Олимпиадинского золоторудного месторождения / А.А. Козырев, К.Н. Константинов, В.В. Рыбин [и др.] // Проблемы недропользования. — 2018. — № 3 (18). — С. 61–69.
17. Рыжов С.В. Обоснование структуры производственной мощности золотодобывающего предприятия на различных этапах развития открытых горных работ / С.В. Рыжов, М.В. Рыльникова // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2020. — № 1. — С. 458–470. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-458-470.
18. Конурин А.И. Подэтажное обрушение под защитой рудо-породной подушки при переходе от открытых работ к подземной выемке / А.И. Конурин, С.А. Щукин, С.А. Неверов [и др.] // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2018. — Т. 5. — № 2. — С. 67–74.
19. Атрушкевич В.А. Оптимизация параметров системы подэтажного обрушения при наличии наклонного контакта руды с породами / В.А. Атрушкевич, Р.Г. Пепелев // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 3 (41). — С. 341–346. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-341-346.
20. Ордин А.А. Обоснование оптимальной глубины перехода от открытых работ к подземным при отработке мощных пологих пластов участка "Разрез Распадский" / А.А. Ордин, И.В. Васильев // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2014. — Т. 1. — № 1. — С. 258–265.
21. Восковский Д.В. Анализ опыта применения систем с принудительным подэтажным обрушением на территории Российской Федерации и за рубежом / Д.В. Восковский // Маркшейдерский вестник. — 2021. — № 2 (141). — С. 63–67.
22. Соколов И.В. Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений : монография / И.В. Соколов, Ю.Г. Антипин, И.В. Никитин. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2021. — 340 с.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Gornostaeva A.A. Dinamika razvitiya zolotodobyvajushhej promyshlennosti Krasnojarskogo kraja na primere Olimpiadinskogo mestorozhdenija [Dynamics of development of the gold mining industry of the Krasnoyarsk Territory using the example of the Olimpiada deposit] / A.A. Gornostaeva // Geografija i geojekologija na sluzhbe nauki i innovacionnogo obrazovanija [Geography and geocology in the service of science and innovative education] : Materials of the XV All-Russian scientific and practical conference with international participation, dedicated to the 140th anniversary of the birth of geologist and local historian Vyacheslav Petrovich Kosovanov. — Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State Pedagogical University named after V. P. Astafiev, 2020. — P. 155–157. [in Russian]
2. Bulgakov S.V. Tehnologija pererabotki zoloto-sur'mjanyh rud mestorozhdenija "Olimpiadinskoe" s polucheniem tovarnogo sur'mjanogo i zolotosoderzhashhego flotokoncentratov [Technology of processing gold-antimony ores of the Olimpiadinskoye deposit to obtain marketable antimony and gold-containing flotation concentrates] / S.V. Bulgakov, Z.P. Kuzina, R.G. Elizarov [et al.] // Cvetnye Metally i Mineraly [Non-ferrous Metals and Minerals] : Collection of abstracts of reports of the Eighth International Congress. — 2016. — P. 458–459. [in Russian]
3. Fominykh M.N. Mineral'no-syr'evaja baza kompanii "Poljus Krasnojarsk" [Mineral resource base of the Polyus Krasnoyarsk company] / M.N. Fominykh, V.A. Karpov, S.S. Il'in // Gornyj zhurnal [Mining Journal]. — 2020. — № 10. — P. 20–25. ISSN 0017–2278. [in Russian]
4. Kazikaev D.M. Issledovanie projavlenij gornogo davlenija pri odnovremennoj razrabotke mestorozhdenija otkrytym i podzemnym sposobami: (Na primere Zyrjanovskogo mestorozhdenija) [Study of manifestations of rock pressure during simultaneous development of a deposit by open and underground methods: (On the example of the Zyryanovskoe deposit)] : Abstract of thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences / Moscow Institute of Radio Electronics and Mining Electromechanics. — Moscow, 1964. — 14 p. [in Russian]
5. Antipin Yu.G. Optimizacija parametrov podzemnoj geotehnologii otrabotki podkar'ernyh zapasov rudnyh mestorozhdenij metodom jekonomiko-matematicheskogo modelirovanija [Optimization of parameters of underground geotechnology for mining underground ore deposits using the method of economic and mathematical modeling] / Ju.G. Antipin, K.V. Baranovskij, A.A. Rozhkov [et al.] // Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta im. G. I. Nosova [Bulletin of the Magnitogorsk State University Technical University named after G.I. Nosov]. — 2022. — Vol. 20. — № 2. — P. 23–35. DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-2-23-35. [in Russian]
6. Burmistrov K.V. Mnogokriterial'nyj analiz strategij ustojchivogo razvitiya glubokih kar'erov [Multi-criteria analysis of strategies for sustainable development of deep quarries] / K.V. Burmistrov, N.A. Osincev, A.N. Rahmangulov [et al.] // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [News of Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering]. — 2023. — Vol. 334. — № 12. — P. 76–96. DOI: 10.18799/24131830/2023/12/4223. [in Russian]
7. Piven G.F. Obosnovanie uslovij jeffektivnogo perehoda ot otkrytyh gornyh rabot k podzemnym pri kombinirovannoj razrabotke kimberlitovyh trubok [Justification of the conditions for an effective transition from open-pit mining to underground mining during the combined development of kimberlite pipes] : abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences / Moscow State Mining University. — Moscow, 2012. [in Russian]
8. Piven G.F. Perehod k podzemnoj razrabotke zakonturnyh zapasov kar'erov na kimberlitovyh trubkah [Transition to underground development of edge reserves of quarries on kimberlite pipes] / G.F. Piven, I.N. Savich // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. — 2010. — № 5. — P. 230–233. [in Russian]
9. Savich I.N. Perspektivy primenenija sistem s samoobrusheniem rudy pri iskusstvennom dnishhe blokov na glubokih gorizontah Donskogo hromitovogo rudnika [Prospects for the use of systems with self-collapse of ore with an artificial bottom of blocks at deep horizons of the Don chromite mine] / I.N. Savich, D.K. Bekbergenov, R.Sh. Nasyrov [et al.] // Gornyj zhurnal [Mining Journal]. — 2022. — № 2. — P. 35–40. DOI: 10.17580/GZH.2022.02.06. [in Russian]
10. Gavrishhev S.E. Obosnovanie parametrov otkosov bortov s uchetom rekonstrukcii kar'era Cvetlinskogo zolotorudnogo mestorozhdenija [Justification of the parameters of side slopes taking into account the reconstruction of the open pit of the Svetlinsky gold ore deposit] / S.E. Gavrishhev, V.Ju. Zaljadnov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle [News of the Tula State University. Geosciences]. — 2021. — № 3. — P. 141–152. [in Russian]
11. Lifar'-Laptev A. A. Obosnovanie vozmozhnosti uvelichenija proizvodstvennoj moshhnosti Kirovskogo rudnika v sootvetstvii s gornogeologičeskimi i gornotehnicheskimi uslovijami otrabotki mestorozhdenija [Justification of the possibility of increasing the production capacity of the Kirov mine in accordance with the mining geological and mining conditions of the deposit] / A.A. Lifar'-Laptev, M.O. Syrenov, A.M. Jakovlev // Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal) [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]. — 2020. — № S16. — P. 3–15. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-5-16-3-15. [in Russian]
12. Nevolko P. A. Fiziko-himicheskie uslovija formirovanija zoloto-sur'mjanog mineralizacii na zolotorudnyh mestorozhdenijah enisejskogo krjazha [Physico-chemical conditions for the formation of gold-antimony mineralization in gold deposits of the Yenisei Ridge] / P.A. Nevol'ko // Metallogenija drevnih i sovremennyh okeanov [Metallogeny of Ancient and Modern Oceans]. — 2006. — № 1. — P. 180–185. [in Russian]
13. Ordin A.A. Optimizacija proektnoj moshhnosti zolotorudnogo kar'era na osnove lagovogo modelirovanija [Optimization of the design capacity of a gold mine based on lag modeling] / A.A. Ordin, I.V. Vasil'ev // Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh [Physico-technical Problems of Mineral Development]. — 2021. — № 2. — P. 71–80. DOI: 10.15372/FTPRPI20210208. [in Russian]
14. Bondarenko I.F. Burovzryvnye raboty na kimberlitovyh kar'erah Jakutii [Drilling and blasting operations in kimberlite quarries of Yakutia] / I.F. Bondarenko, S.N. Zharikov, I.V., Zyrjanov [et al.]. — Yekaterinburg, 2017. — 172 p. ISBN 978-5-7691-2481-5. [in Russian]

15. Dashkevich E.G. BMineralogo-geohimicheskie osobennosti rud i fiziko-himicheskie uslovija formirovanija poputninskogo zolotorudnogo mestorozhdenija (Enisejskij krjazh) [Mineralogical and geochemical features of ores and physical and chemical conditions for the formation of the Poputninsky gold deposit (Yenisei Ridge)] / E.G. Dashkevich, P.A. Nevol'ko, A.L. Timkina // Metallogenija drevnih i sovremennyh okeanov [Metallogeny of Ancient and Modern Oceans]. — 2011. — № 1. — P. 214–218. [in Russian]
16. Kozyrev A.A. Jeksperimental'nye opredelenija parametrov naprjazhennogo sostojanija pribortovogo massiva porod kar'era "Vostochnyj" Olimpiadinskogo zolotorudnogo mestorozhdenija [Experimental determination of the parameters of the stress state of the near-edge rock massif of the Vostochny quarry of the Olimpiada gold ore deposit] / A.A. Kozyrev, K.N. Konstantinov, V.V. Rybin [et al.] // Problemy nedropol'zovanija [Problems of Subsoil Use]. — 2018. — № 3 (18). — P. 61–69. [in Russian]
17. Ryzhov S. V. Obosnovanie struktury proizvodstvennoj moshhnosti zolotodobyvajushhego predpriyatija na razlichnyh jetapah razvitija otkrytyh gornyh rabot [Justification of the structure of the production capacity of a gold mining enterprise at various stages of development of open-pit mining] / S.V. Ryzhov, M.V. Ryl'nikova // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle [Proceedings of the Tula State University. Geosciences]. — 2020. — № 1. — P. 458–470. DOI: 10.46689/2218-5194-2020-1-1-458-470. [in Russian]
18. Konurin A.I. Podjetazhnoe obrushenie pod zashhitoj rudo-porodnoj podushki pri perehode ot otkrytyh rabot k podzemnoj vyemke [Sublevel collapse under the protection of an ore-rock cushion during the transition from open-pit mining to underground excavation] / A.I. Konurin, S.A., Shhukin, S.A. Neverov [et al.] // Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk [Fundamental and Applied Issues of Mining Sciences]. — 2018. — Vol. 5. — № 2. — P. 67–74. [in Russian]
19. Atrushkevich V. A. Optimizacija parametrov sistemy podjetazhnogo obrushenija pri nalichii naklonnogo kontakta rudy s porodami [Optimization of parameters of the sublevel collapse system in the presence of inclined contact of ore with rocks] / V.A. Atrushkevich, R.G. Pepelev // Ustojchivoe razvitie gornyh territorij [Sustainable Development of Mountain Territories]. — 2019. — Vol. 11. — № 3 (41). — P. 341–346. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-341-346. [in Russian]
20. Ordin A. A. Obosnovanie optimal'noj glubiny perehoda ot otkrytyh rabot k podzemnym pri otrabotke moshhnyh pologih plastov uchastka "Razrez Raspadskij" [Justification of the optimal depth of transition from open-pit to underground mining when mining thick flat layers of the Raspadsky open-pit mine site] / A.A. Ordin, I.V. Vasil'ev // Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyh nauk [Fundamental and Applied Issues of Mining Sciences]. — 2014. — Vol. 1. — № 1. — P. 258–265. [in Russian]
21. Voskovsky D.V. Analiz opyta primenenija sistem s prinuditel'nym podjetazhnym obrusheniem na territorii Rossijskoj Federacii i za rubezhom [Analysis of experience in using systems with forced subfloor collapse on the territory of the Russian Federation and abroad] / D.V. Voskovskij // Markshejderskij vestnik [Mine Surveyor's Bulletin]. — 2021. — № 2 (141). — P. 63–67. [in Russian]
22. Sokolov I.V. Metodologija vybora podzemnoj geotehnologii pri kombinirovannoj razrabotke rudnyh mestorozhdenij [Methodology for choosing underground geotechnology in the combined development of ore deposits] : monograph / I.V. Sokolov, Ju.G. Antipin, I.V. Nikitin. — Yekaterinburg : Ural University Publishing House, 2021. — 340 p. [in Russian]