



ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)

УДК 622.68:621.86

DOI: 10.18503/1995-2732-2025-23-3-34-42

ВАРИАНТ СТРАТЕГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОДЪЕМНИКА ДЛЯ КРУТОПАДАЮЩЕГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Журавлев А.Г., Коньков И.Е., Чендырев М.А., Глебов И.А.

Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия

Аннотация. Актуальность работы. Сквозная оптимизация многоэлементной транспортной системы горнодобывающего предприятия с учетом заданной стабильности и качества рудопотока от забоя до готовой продукции (обогащенной руды) позволит повысить эффективность его в целом, а также обеспечит резервы для повышения полноты освоения месторождения за счет высвобождающихся экономических ресурсов. Такая парадигма требует в том числе тщательного отношения к выбору и стратегии применения внутрикарьерного транспорта. Одним из вариантов магистрального внутрикарьерного транспорта при разработке глубокозалегающих месторождений с ограниченными размерами в плане (например, алмазородных, золоторудных и др.) является карьерная наклонная канатная подъемная установка (КНКП), характеризующаяся небольшими размерами перегрузочной площадки, высоким углом наклона подъемника к горизонту, что позволяет разместить его по кратчайшему расстоянию на поверхность, а также существенной экономией эксплуатационных затрат. Современная техника позволяет обеспечить грузоподъемность КНКП до 240 т в расчете как на скип, так и на подъем автосамосвала с указанным грузом. Однако применение КНКП ограничено из-за его особенностей, накладывающих ограничения на ведение горных работ. **Результаты.** В статье рассмотрена разработка рациональной стратегии освоения месторождения с применением комбинированного транспорта: сборочный автотранспорт совместно с КНКП. В качестве горно-геологических условий приняты характерные для алмазородных и некоторых мощных глубокозалегающих золоторудных месторождений параметры. Исследования выполнены на основе горно-геометрического анализа вариантов понижения горных работ с последующей укрупненной технико-экономической оценкой. За базовый принят вариант разработки с применением автомобильного транспорта.

Ключевые слова: карьерная наклонная канатная подъемная установка, режим горных работ, стратегия разработки месторождения, горно-геометрический анализ

Исследования выполнены в рамках государственного задания №075-00410-25-00. Г.р. № 125070908257-0. Тема 1 (2025-2027). Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России (FUWE-2025-0001).

© Журавлев А.Г., Коньков И.Е., Чендырев М.А., Глебов И.А., 2025

Для цитирования

Вариант стратегии освоения месторождения с применением подъемника для крутопадающего месторождения / Журавлев А.Г., Коньков И.Е., Чендырев М.А., Глебов И.А. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2025. Т. 23. №3. С. 34-42. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-34-42>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

VERSION OF THE DEPOSIT DEVELOPMENT STRATEGY USING A LIFT FOR A STEEPLY DEEPING DEPOSIT

Zhuravlev A.G., Konkov I.E., Tchendyrev M.A., Glebov I.A.

Institute of Mining, the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia

Abstract. Relevance. End-to-end optimization of the mining enterprise's multi-element transport system, taking into account the specified stability and quality of the ore flow from the face to the finished product (enriched ore), will increase its overall efficiency, as well as provide reserves to increase the completeness of a deposit development due to the released economic resources. Such a paradigm requires, among other things, careful consideration of the choice and strategy of using in-pit transport. One of the options for mainline in-pit transport in the development of deep-lying deposits with limited dimensions (for example, diamond ore, gold ore, etc.) is a quarry inclined rope lifting unit (QIRL), characterized by the small size of the loading area, a high angle of inclination of the lift to the horizon, which allows it to be placed at the shortest distance to the surface, as well as a significant saving operational costs. Modern technology makes it possible to provide the QIRL with a lifting capacity of up to 240 tons, based on both the skip and the lifting of the dump truck with the specified load. However, the use of QIRL is limited due to its features, which impose restrictions on mining operations. **Results.** The article considers the development of a rational strategy for the deposit development using combined transport: assembly vehicles with the QIRL. The parameters characteristic of diamond ore and some powerful deep-lying gold deposits are accepted as mining and geological conditions. The research was carried out on the basis of a mining and geometric analysis of mining reduction options followed by an integrated technical and economic assessment. A development option using motor transport was adopted as the basic one.

Key words: quarry inclined rope lifting unit, mining mode, deposit development strategy, mining and geometric analysis

The research was carried out within the framework of State Assignment No. 075-00412-25-00. reg. №125070908257-0. Subject 1 (2025-2027). Methodology for substantiating the prospects for technological development of integrated development of mineral and raw materials resources of solid minerals in Russia (FUWE-2025-0001).

For citation

Zhuravlev A.G., Konkov I.E., Tchendyrev M.A., Glebov I.A. Version of the Deposit Development Strategy Using a Lift for a Steeply Deeping Deposit. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2025, vol. 23, no. 3, pp. 34-42. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2025-23-3-34-42>

Введение

Проектирование освоения месторождения является сложной и комплексной задачей, требующей учета всех элементов технологической цепочки и смежных аспектов [1]. Одним из ключевых процессов открытой добычи полезных ископаемых является технологический транспорт. Соответственно, оптимизация транспорта является важнейшей задачей и требует в современных условиях рассмотрения всех его звеньев – от сборочного в карьере до магистрального, доставляющего руду на обогатительную фабрику. Наиболее современные разработки, направленные на оптимизацию работы обогатительного передела, учитывают функционирование его транспортно-логистической системы в увязке с объемами и качеством готовой продукции. Включение обогатительного передела в единую многоэлементную систему технологического транспорта горнодобывающего предприятия.

Первичным (головным) элементом такой системы является внутрикарьерный транспорт, который определяет до 50% и более от себестоимости товарной руды. Поэтому его оптимизация является важнейшей задачей.

При разработке месторождений открытым способом наиболее распространено вскрытие автомобильными съездами с применением автомобильного транспорта, который при крутом падении залежи используется в качестве единственного сборочно-магистрального транспорта. Это обусловлено тем, что при разработке крутопадающих рудных тел ограничена протяженность фронта горных работ в глубокой зоне карьера и необходимы достаточно высокие скорости его подвигания в условиях ограниченного рабочего пространства.

Однако при значительной высоте подъема и расстоянии транспортирования автомобильный транспорт характеризуется высокими затратами. В настоящее время не найдено универсальных рациональных практических вариантов комбинированного транспорта, обеспечивающих эффективную разработку месторождений глубокими карьерами с крутыми бортами. Примерами таких месторождений могут служить алмазорудные (например, месторождения Западной Якутии), золоторудные (например, Олимпиадинское месторождение), руды цветных металлов. Актуальным является поиск вариантов комбинированного транспорта для указанных горно-

геологических и соответствующих горно-технологических условий.

Одним из видов транспорта, обеспечивающих низкие эксплуатационные затраты и возможность доставки по кратчайшему расстоянию при высоких углах откоса бортов карьера, являются карьерные наклонные канатные подъемные установки (КНКП). Они обеспечивают сокращение парка автосамосвалов и затрат в сравнении с вариантом автомобильного транспорта, снижение загазованности карьера [2]. В то же время высокие капитальные затраты, немалый срок строительства и ввода подъемника в эксплуатацию, а также ограничения по производительности и техническим возможностям [3] требуют для их эффективного применения разработки соответствующей стратегии освоения месторождения.

Для достижения наилучших показателей работы КНКП и обеспечения необходимой производительности предприятия необходимо не только правильно определить глубину заложения нижнего загрузочного пункта подъемника, но и обеспечить достаточный период его производительного функционирования для окупаемости больших капитальных затрат на его возведение.

В связи с вышесказанным целью представленного исследования является разработка стратегии освоения с применением комбинированного транспорта «автотранспорт + КНКП» крутопадающих месторождений с большой глубиной распространения. Учитывая большое количество возможных вариантов месторождений и порядка их разработки, в рамках данной статьи рассмотрено решение вышеуказанной задачи

на примере месторождения со ступенчатой формой залегания рудных тел, что объясняется следующим.

Для организации перегрузочного пункта со сборочного автомобильного транспорта на КНКП необходима площадка, формирование которой возможно либо на рудном целике, который может быть в последующем отработан, либо на площадке, сложенной пустыми породами, которая образуется за счет ступенчатой формы залегания рудных тел. Вторым случаем более прост и позволяет обосновать основные принципы стратегии освоения месторождения, не прибегая к сложной многоуровневой модели.

Методы исследований

В качестве месторождения принята группа рудных тел, сформированная по обобщенным параметрам алмазородных месторождений Западной Якутии (рис. 1) [4, 5]. Контур карьера определен в два этапа:

1. По граничному коэффициенту вскрыши методом вариантов сформирован прямолинейный огрубленный ступенчатый контур, определяющий границы достижимой глубины освоения месторождения и положение площадки в левой части.

2. Первичный контур уточнен путем нарезания вскрывающих выработок и выработок под транспортные коммуникации, в том числе траншею подъемника, а также берм очистки. Именно этот контур представлен на рис. 1. На левом борту карьера до глубины нижнего загрузочного пункта (НЗП) предусмотрено размещение КНКП. Ниже левый борт сформирован с учетом размещения автомобильных съездов. На правом борту карьера располагается петлевая трасса автосъездов.

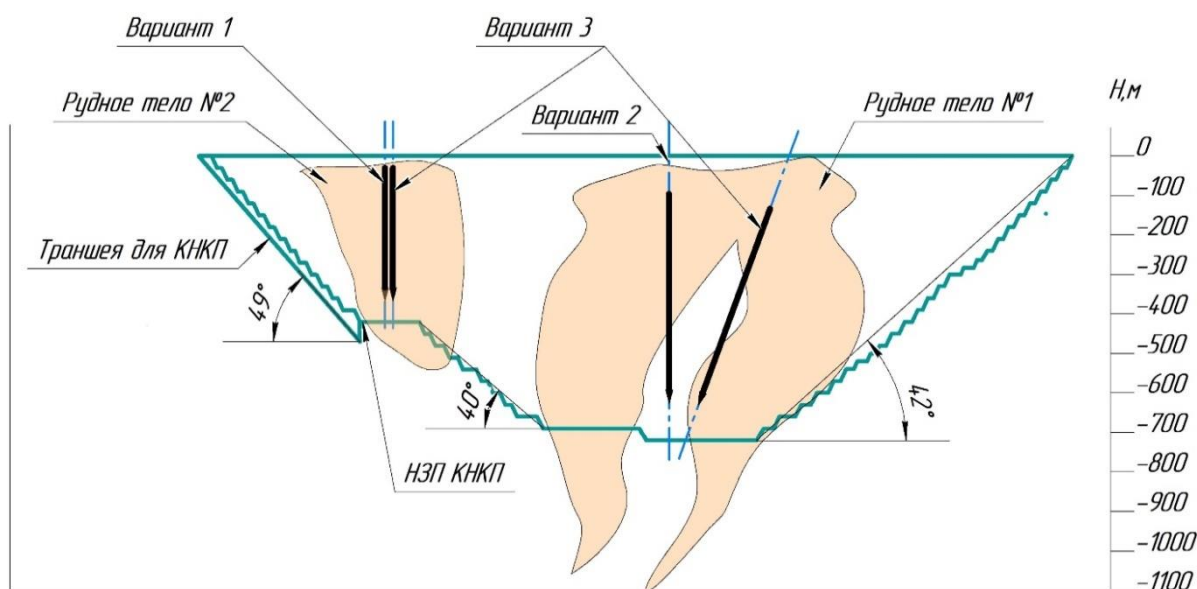


Рис. 1. Схема рассматриваемого месторождения и конечного контура карьера:

НЗП КНКП – нижний загрузочный пункт карьерной наклонной канатной подъемной установки

Fig. 1. Diagram of the deposit under consideration and the final contour of the quarry:

НЗП КНКП is lower loading point of the quarry inclined rope lifting unit

Рассматривались варианты разработки месторождения с применением только автомобильного транспорта (обозначен «Авто») и комбинированного транспорта «Авто+КНКП». В обоих вариантах конечный контур принят идентичным, чтобы исключить влияние данного фактора. Объемы руды и вскрыши, вовлекаемые в разработку, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметры исследуемого карьера
Table 1. Parameters of the studied quarry

| Параметр | Значение |
|---|-----------|
| Наибольшая глубина карьера, м | 720 |
| Глубина горизонтальной площадки на уровне НЗП* КНКП, м | 420 |
| Размеры карьера по поверхности, м | 2214×2012 |
| Размеры карьера по дну, м | 340×340 |
| Размер площадки карьера на уровне НЗП* КНКП, м | 400×260 |
| Суммарный объем руды, вовлекаемой в разработку, млн т, в том числе: | 465,57 |
| – рудного тела №1 | 267,17 |
| – рудного тела №2 | 198,40 |
| Объем вскрыши, млн т | 2295,13 |
| Плотность руды в целике, т/м ³ | 2,2 |
| Плотность вскрышных пород в целике, т/м ³ | 2,5 |

* НЗП – нижний загрузочный пункт подъемника.

Для определения рационального направления углубки и порядка отработки месторождения выполнялся горно-геометрический анализ по известной методике [6-9]. Метод был усовершенствован в части геометрических построений для повышения точности и учета сложной пространственной формы рудных тел и карьера. Для этого были отстроены модели рудных тел и карьера с помощью программы Mineframe [10] с последующим переводом в КОМПАС-3D. Дальнейшие геометрические построения выполнялись в КОМПАС-3D, в частности, выделялись выемочные слои с углом наклона рабочего борта карьера высотой, равной высоте уступа 15 м, и определялись соответствующие объемы руды и вскрыши. Предварительное выравнивание графиков режима горных работ также осуществлялось по вышеуказанной методике укрупненно с целью сравнения и выбора рационального порядка развития горных работ. Для выбранного по итогам сравнения варианта выравнивание графика режима горных работ выполнялось детально, в том числе с учетом управления формой бортов карьера путем организации временно нерабочих участков бортов карьера и возможности применения накопительного рудного склада.

Из множества рассмотренных вариантов выделим три основных, отличающихся принципиальными моментами (см. рис. 1):

– **Вариант 1.** Направление понижения горных работ принято по рудному телу №2 с целью наиболее быстрого достижения площадки на уровне нижнего загрузочного пункта подъемника (НЗП КНКП) с целью его скорейшего ввода в эксплуатацию.

– **Вариант 2.** Направление понижения горных работ выбрано по центру карьера, что позволяет установить общую закономерность формирования режима горных работ по горно-геологическим условиям. В большей степени этот вариант подходит при разработке с применением только автомобильного транспорта, поскольку на момент достижения горными работами площадки на уровне НЗП КНКП.

– **Вариант 3.** Понижение горных работ предусматривается комбинированно с одновременной углубкой по рудным телам №1 и 2. Такой подход обеспечивает возможность выявить закономерности при поиске паллиативного варианта ведения горных работ, обеспечивающего как скорейший ввод в эксплуатацию КНКП, так и распределение объемов горных работ и в пространстве (в том числе их отдаление от зоны строительства подъемника), и во времени.

После горно-геометрических расчетов варианты оценивались по технико-экономическим показателям:

- стабильность потока руды и потенциал его выравнивания во времени;
- требуемая производительность транспорта по руде и вскрыше, стабильность парка карьерных автосамосвалов;
- укрупненные затраты на выемку горной массы.

Результаты исследований

Первичные расчеты выполнены для вышеуказанных параметров карьера с учетом предельной производительности одного КНКП 13 млн т/год. Во всех случаях в момент достижения горными работами площадки НЗП (нижнего загрузочного пункта будущего подъемника) начинается строительство КНКП, а по его завершении ввод подъемника в эксплуатацию и переход на применение комбинированного транспорта «карьерные автосамосвалы + КНКП». Сопоставление результатов горно-геометрического анализа вариантов направлений углубки (рис. 2, табл. 2) показало следующее:

– при центральной углубке (вариант 2) обеспечивается достаточно равномерное распределение объемов добычи руды по годам, а существенный объем вскрыши относится на вторую треть периода разработки месторождения, однако на этап функционирования КНКП остается чрезмерно малый объем горной массы, что не позволяет окупить затраты на него; это объясняется тем, что понижающимися горными работами площадка НЗП КНКП формируется только при отметке дна промежуточного контура карьера 660 м, что соответствует 90% от конечной глубины при выемке к этому моменту 93% от всего объема горной массы;

– при углубке по рудному телу №2 (вариант 1) возникают сложности с организацией строительства КНКП, так как горные работы ведутся на относительно малом расстоянии от зоны строительно-монтажных работ, а также в период функционирования КНКП наблюдается значительная неравномерность объемов горных работ по годам и их превыше-

ние над производительностью подъемника, что переносит существенную долю грузопотока на магистральный автотранспорт, который должен осуществлять доставку горной массы на поверхность параллельно с КНКП; выравнивание режима горных работ по руде достижимо с применением накопительного рудного склада, но объемы вскрыши имеют пики, что вызывает существенные колебания грузо-транспортной работы и соответствующие изменения в потребном парке карьерных автосамосвалов;

– двунаправленное развитие горных работ (вариант 3) при отсутствии оптимизации характеризуется крайне высокой неравномерностью распределения объема горных работ во времени с пиком в первой трети от общей длительности разработки (как известно, рациональным считается перенос наибольших объемов горных работ на последующие периоды); проработка вариаций данной стратегии показала, что она имеет позитивные перспективы в оптимизации режима горных работ применительно к комбинированному транспорту «Авто+КНКП», но требует выбора рационального распределения во времени графика поэтапной смены направлений.

Таким образом, рациональный вариант стратегии освоения месторождения с применением КНКП может быть разработан при сохранении положительных и нивелировании отрицательных характеристик за счет комбинации 1-го и 3-го из рассмотренных вариантов. Соответствующие исследования с примени-

ем горно-геометрических и технико-экономических расчетов позволили разработать такую стратегию, заключающуюся в следующем (рис. 3):

– **Этап 1.** Формирование пионерного карьера (объем V_1) на глубину заложения перегрузочного пункта H_1 между сборочным автотранспортом и КНКП. К окончанию данного этапа часть горных работ переносится на верхние горизонты в область V с целью скорейшего достижения рудного тела №1 для поддержания производственной мощности по руде в период затухания горных работ в объеме V_1 и строительства КНКП.

– **Этап 2.** Строительство КНКП с нижним перегрузочным пунктом на площадке НЗП (глубина H_1 на рис. 3 или НЗП на рис. 1) и одновременное развитие горных работ в этот период в пределах объема V_2 , обеспечивающие поддержание или наращивание производственной мощности и создание условий для последующего вскрытия запасов в объеме V_3 . Заблаговременное развитие горных работ вблизи V_1 , выполненное на первом этапе, обеспечивает безопасное их удаление от зоны строительно-монтажных работ по возведению КНКП.

– **Этап 3.** Разработка месторождения с применением комбинированного транспорта «Авто+КНКП» до проектной глубины карьера. Руда и по необходимости часть вскрыши транспортируется на поверхность подъемником, остальной объем вывозится автосамосвалами.

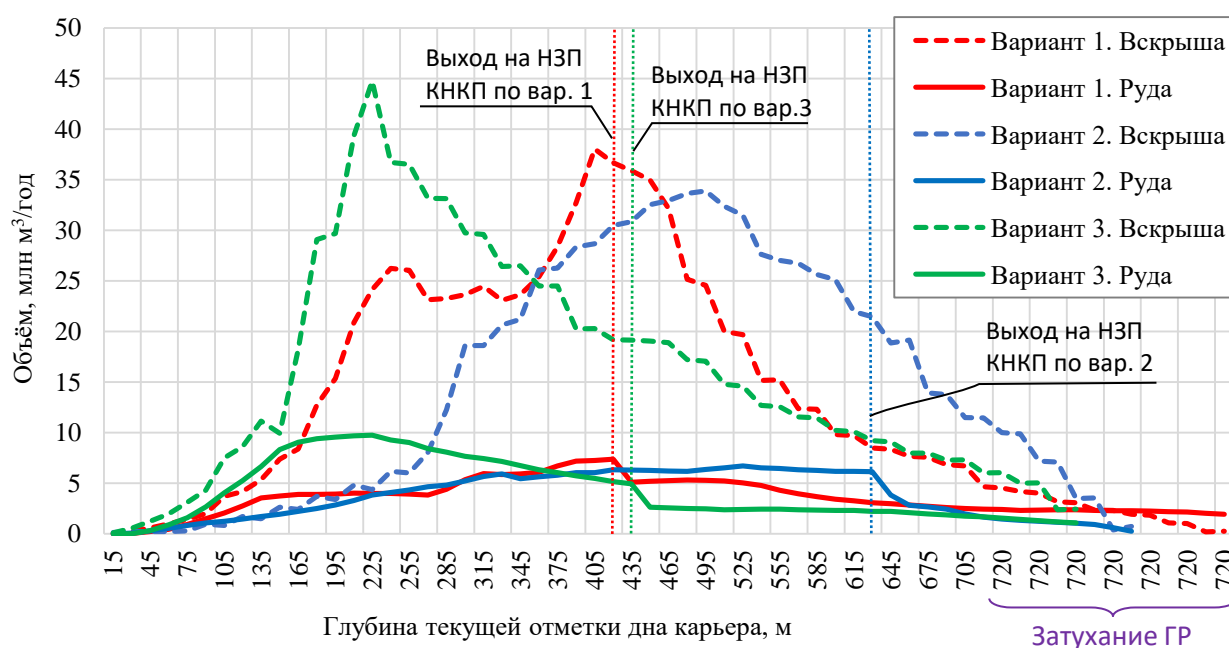


Рис. 2. Изменение требуемых объемов выемки руды и вскрыши от глубины горных работ по результатам горно-геометрического анализа: затухание ГР – период затухания горных работ после достижения проектной отметки дна карьера

Fig. 2. Changes in the required volumes of ore extraction and overburden from the depth of mining operations based on the results of mining geometric analysis: затухание ГР is the period of mining operations attenuation after reaching the design point of the quarry bottom

Таблица 2. Сравнение результатов горно-геометрического анализа
Table 2. Comparison of the results of mining and geometric analysis

| Вариант | Индивидуальные характеристики | | Общие характеристики |
|---------|---|--|---|
| | Преимущества | Недостатки | |
| 1 | 1) Перенос значительного объема вскрыши на первоначальный период с его минимизацией на завершающем этапе разработки 2) График производительности по вскрыше имеет «плато», что облегчает его выравнивание во времени 3) Значительный объем добычи руды на завершающей стадии разработки | 1) Двукратное резкое нарастание производительности по вскрыше, достигающей пика при глубине 405 м 2) Пик вскрыши при 375-520 м затрудняет выравнивание производительности | После ввода КНКП в эксплуатацию предусматривается перевозка руды только им, что ограничивает производительность предприятия по руде |
| 2 | 1) Наиболее стабильный график добычи руды во времени, что облегчает выравнивание производительности 2) Наиболее стабильный график производительности по руде | 1) Значительный объем вскрыши отнесен на завершающий этап разработки 2) Момент ввода в эксплуатацию КНКП выпадает на завершающую стадию разработки 3) Длительный период выхода на проектную мощность по горной массе | |
| 3 | 1) Короткий период затухания горных работ 2) Плавное убывание производительности по вскрыше к окончанию горных работ, что упрощает выравнивание 3) Минимальный объем вскрыши на завершающем этапе разработки | 1) Перенос значительного объема вскрыши на первоначальный период 2) Наибольший из всех вариантов пик производительности по вскрыше 3) Повышенный объем добычи руды в первой трети срока разработки, что затрудняет выравнивание во времени | |

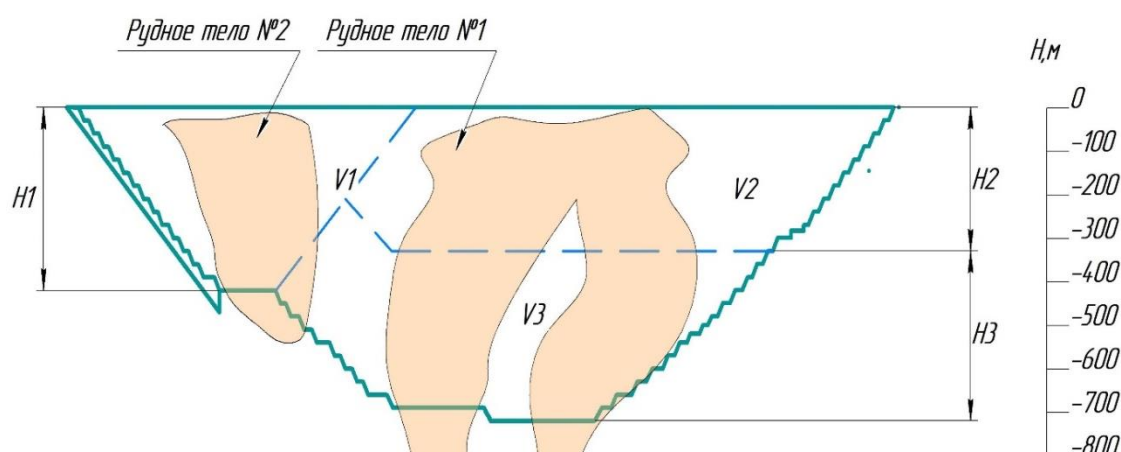


Рис. 3. Схема очередности разработки месторождения: $H1$ – глубина размещения нижнего загрузочного пункта КНКП; $V1$ – объем горной массы, извлекаемый на первом этапе разработки для опережающего ввода КНКП в эксплуатацию; $H2$, $V2$ – соответственно зона карьера по глубине и объем, разрабатываемый с применением только автомобильного транспорта; $H3$, $V3$ – соответственно зона карьера по глубине и объем, разрабатываемый при комбинированном транспорте «Авто+КНКП»

Fig. 3. Scheme of the sequence of deposit development: $H1$ is the depth of the lower loading point of the QIRL; $V1$ is the volume of rock mass extracted at the first stage of development for the early commissioning of the QIRL; $H2$, $V2$ are respectively, the quarry area in terms of depth and the volume developed using only motor transport; $H3$, $V3$ are respectively, the quarry area in terms of depth and the volume, developed with the combined transport "Auto +QIRL"

Горизонтальный характер границы между $V2$ и $V3$, располагаемой на глубине $H2$, объясняется тем, что она определена по предельной высоте подъема горной массы автосамосвалами, более которой выгоднее выполнять подъем горной массы на поверхность комбинированным транспортом «Авто+КНКП» в сравнении с только автомобильным транспортом. Согласно выполненным расчетам, для рассматриваемых горно-геологических условий (см. табл. 1) $H2$

составляет 330 м. Изгиб границы в левой части предусмотрен с учетом того, что по мере удаления забоев от капитальных выездов, размещение которых предусмотрено в правой части карьера, значительное расстояние транспортирования также влияет на снижение экономичности автотранспорта, а расстояние доставки до КНКП, наоборот, снижается. Конкретный характер границы должен определяться для конкретных горно-геологических и горно-

технологических условий с учетом параметров транспорта, режима горных работ, плановых грузопотоков, размещения отвалов, рудных складов и обогатительного производства на поверхности и в рамках данного исследования подробно не рассматривается.

Результаты горно-геометрического анализа вышеуказанного варианта разработки месторождения с переходом на КНКП приведен на **рис. 4** (обозначен как «Авто+КНКП»). Там же для сравнения указан график для варианта разработки с применением только автомобильного транспорта («Авто»), для которого за основу взят вариант 2.

Видно, что предлагаемая стратегия позволяет не только применять для вывоза значительных объемов горной массы более дешевый комбинированный транспорт «Авто+КНКП», но и распределить во времени объемы выемки руды и вскрыши и существенно облегчить выравнивание графика режима горных работ. Для улучшения технико-экономических показателей разработки месторождения дополнительно

предусмотрен второй КНКП, предназначенный для транспортирования вскрыши, а также для возможности вывоза пиковых объемов руды в периоды её неравномерной добычи.

Благодаря высокой «динамичности» и адаптивности автомобильного транспорта к изменяющимся горно-техническим условиям и высокой его производительности вариант разработки только автомобильным транспортом позволяет поддерживать более высокую производительность по руде и вскрыше и, соответственно, меньший срок разработки месторождения.

Стабилизация подачи руды на обогатительную фабрику для варианта «Авто+КНКП» осуществлялась в расчете на аккумулирующий рудный склад вместимостью до 91 млн т. На **рис. 5** приведен расчетный график поставки руды на ДОФ. Производительность определена методом вариантов с подбором темпов углубки карьера исходя из объема поставки руды с карьера и со склада, обеспечивающего стабильный поток.

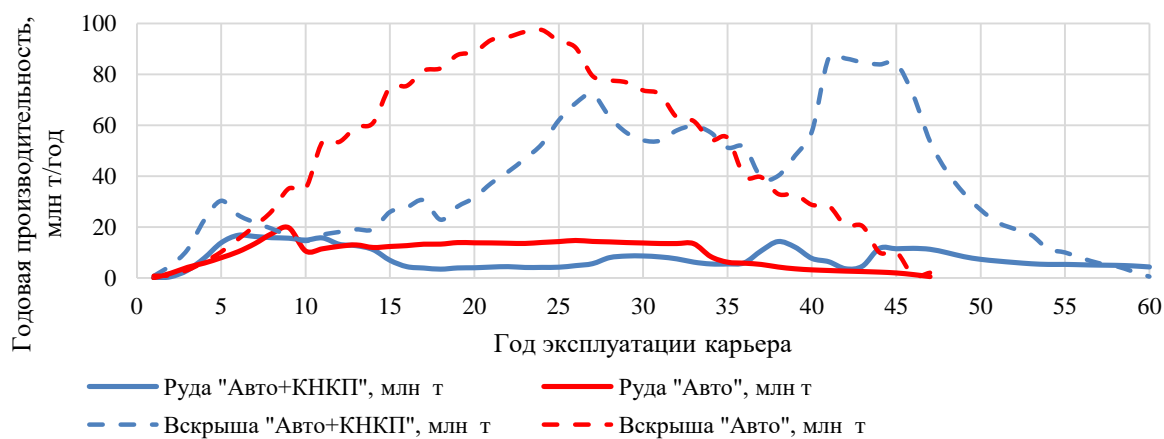


Рис. 4. Динамика производительности карьера по руде и вскрыше по результатам горно-геометрического анализа без выравнивания

Fig. 4. Dynamics of quarry productivity for ore and overburden based on the results of mining and geometric analysis without alignment

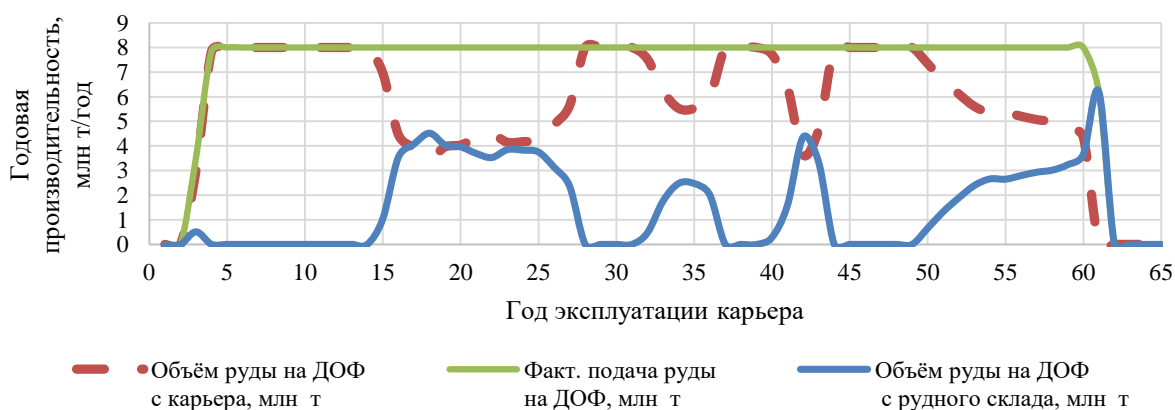


Рис. 5. Стабилизированный график подачи руды на дробильно-обогатительную фабрику при разработке месторождения с применением КНКП

Fig. 5. Stabilized graph of ore supply to the crushing and processing plant during the development of the deposit using QIRL

Оценка экономических показателей выполнялась по следующим принципам:

– расходы на транспортирование горной массы рассчитывались методом постатейной калькуляции [11], исходные данные приняты по аналогам [5], а также на основе специальных расчетов [2];

– расходы на экскавацию, буровзрывные работы и прочие общеканьерные расходы приняты по аналогам как постоянная величина, поскольку конечный контур каньера для обоих вариантов одинаков;

– доходная часть оценивалась исходя из объема поставки товарной руды на ДОФ.

Выполненная экономическая оценка вариантов разработки месторождения: базового «Авто» и рассматриваемого «Авто+КНКП» показала, что экономия за счет расходов на транспортирование для «Авто+КНКП» составляет 10% от всех затрат на разработку месторождения. Это существенная сумма, которая показывает целесообразность применения КНКП в специфических условиях.

Заключение

1. Выполненное сопоставление вариантов показало, что для каньера с округлой вытянутой формой наиболее целесообразным является двунаправленное развитие горных работ с первоочередным формированием каньера в зоне строительства КНКП и последующим развитием их к основному объему рудной залежи. Такой подход позволяет перераспределять интенсивность горных работ по зонам, обеспечивая как выравнивание режима горных работ, так и охранную зону для строительно-монтажных работ при ведении подъемника.

2. Установлено, что при разработке технологии ведения горных работ с применением КНКП предпочтительно переносить автомобильные съезды при формировании конечного контура каньера на противоположный и смежные борта с тем, на котором возводится КНКП.

3. Показана эффективность применения КНКП по горно-технологическим и технико-экономическим факторам, это целесообразно для особых условий, когда залегание руды и форма каньера обеспечивают наличие площадки на глубине 300-450 м, где может размещаться нижний грузочный пункт подъемника. Расчетная экономия затрат на разработку месторождения от применения КНКП составляет 10%.

Список источников

1. Lamghari A., Dimitrakopoulos R., Ferland J.A. A hybrid method based on linear programming and variable neighborhood descent for scheduling production in open-pit mines // *Journal of Global Optimization*. 2015, 63 (3), pp. 555-582
2. Чендырев М.А., Журавлев А.Г. Техничко-экономические параметры транспортирования горной массы из каньера автомобильным наклонным каньерным подъемником // *Черная металлургия. Бюллетень*

научно-технической и экономической информации. 2018. № 1(1417). С. 33-37.

3. Чендырев М. А. Обоснование условий эффективно-го применения каньерных канатных подъемных установок // *Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство*. 2024. № 25. С. 141-148.
4. Колганов В.Ф., Акишев А.Н., Дроздов А.В. Горно-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии. Мирный: Мирнинская типография, 2013. 568 с.
5. Совершенствование добычи и переработки алмазосодержащих руд / Зырянов И.В., Акишев А.Н., Бондаренко И.Ф. и др. Якутск: Издательский дом СВФУ, 2020. 720 с.
6. Арсентьев А.И. Производительность каньеров. СПб.: Санкт-Петербургский горный ин-т, 2002. 85 с.
7. Ржевский В.В. Открытые горные работы: учебник для вузов. Ч. II. Технология и комплексная механизация. М.: Недра, 1985. 549 с.
8. Проектирование каньеров: учебник / Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. и др. 3-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2009. 694 с.
9. Планирование открытых горных работ: учебник / Корнилов С.В., Наговицын О.В., Славиковская Ю.О. и др. М.: Ай Пи Ар Медиа, 2021. 346 с.
10. Наговицын О.В. Развитие горно-геологической информационной системы в современных реалиях российской горнодобывающей отрасли // *Горная промышленность*. 2023. № S5. С. 35-40.
11. Журавлев А.Г. Выбор рациональной грузоподъемности каньерных автосамосвалов для конкретных условий транспортирования // *Транспорт Урала*. 2014. №4. С. 96-101.

References

1. Lamghari A., Dimitrakopoulos R., Ferland J.A. A hybrid method based on linear programming and variable neighborhood descent for scheduling production in open-pit mines. *Journal of Global Optimization*. 2015;63(3): 555-582.
2. Chendyrev M.A., Zhuravlev A.G. Technical and economic parameters of transportation of rock mass from a quarry by an automobile inclined quarry lift. *Chernaya metallurgiya. Bjulleten nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii* [Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information], 2018;1(1417):33-37. (In Russ.)
3. Chendyrev M.A. Substantiation of the conditions for the effective use of quarry rope lifting units. *Transportnoe, gornoe i stroitelnoe mashinostroyeniye: nauka i proizvodstvo* [Transport, mining and construction engineering: science and production], 2024;25:141-148. (In Russ.)
4. Kolganov V.F., Akishev A.N., Drozdov A.V. *Gornogeologicheskie osobennosti korenykh mestorozhdeniy almazov Yakutii* [Mining and geological features of the indigenous diamond deposits of Yakutia]. Mirny: Mirminskaya printing House, 2013, 568 p. (In Russ.)
5. Zyryanov I.V., Akishev A.N., Bondarenko I.F. et al. *Sovershenstvovanie dobychi i pererabotki almazosoderzhashchih rud* [Improvement of mining and

- processing of diamond-bearing ores]. Yakutsk: NEFU Publishing House, 2020, 720 p. (In Russ.)
6. Arsentiev A.I. *Proizvoditelnost karerov* [Productivity of quarries]. St. Petersburg: St. Petersburg Mining Institute, 2002, 85 p. (In Russ.)
7. Rzhnevsky V.V. *Otkrytye gornye raboty: uchebn. dlja vuzov. Ch. II. Tehnologiya i kompleksnaya mehanizatsiya* [Open-pit mining: textbook for universities. Part II. Technology and complex mechanization]. Moscow: Nedra, 1985, 549 p. (In Russ.)
8. Trubeckoy K.N., Krasnyanskiy G.L., Khronin V.V. et al. *Proektirovanie karerov: uchebnik* [Quarry design: a textbook]. 3rd edition, revised. Moscow: Graduate school, 2009, 694 p. (In Russ.)
9. Kornilkov S.V., Nagovitsyn O.V., Slavikovskaya Yu.O. et al. *Planirovanie otkrytyh gornyh rabot: uchebnik* [Open-pit mining planning: a textbook]. Moscow: AI Art Media, 2021, 346 p. (In Russ.)
10. Nagovitsyn O.V. Development of the mining and geological information system in the modern realities of the Russian mining industry. *Gornaya promyshlennost* [Mining industry], 2023;(S5):35-40. (In Russ.)
11. Zhuravlev A.G. The choice of rational loading capacity of mining dump trucks for specific transportation conditions. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2014;4:96-101. (In Russ.)

Поступила 16.01.2025; принята к публикации 17.03.2025; опубликована 30.09.2025
Submitted 16/01/2024; revised 17/03/2025; published 30/09/2025

Журавлев Артем Геннадиевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией транспортных систем карьеров и геотехники, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия.
Email: juravlev@igduran.ru. ORCID 0000-0001-7643-3994

Коньков Илья Евгеньевич – лаборант, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия.
Email: konkov@igduran.ru

Чендырев Михаил Андреевич – научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия.
Email: chendyrev@igduran.ru. ORCID 0000-0002-8354-6345

Глебов Игорь Андреевич – научный сотрудник, Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, Россия.
Email: i.glebov@igduran.ru. ORCID 0000-0003-4436-3594

Artyom G. Zhuravlev – PhD (Eng.), Head of the Laboratory of Quarry Transport Systems and Geotechnics, Institute of Mining, the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.
Email: juravlev@igduran.ru. ORCID 0000-0001-7643-3994

Илья Е. Конков – Laboratory Assistant, Institute of Mining, the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.
Email: konkov@igduran.ru

Mikhail A. Chendyrev – Researcher, Institute of Mining, the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.
Email: chendyrev@igduran.ru. ORCID 0000-0002-8354-6345

Igor A. Glebov – Researcher, Institute of Mining, the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Yekaterinburg, Russia.
Email: i.glebov@igduran.ru. ORCID 0000-0003-4436-3594