

УДК 622.271.06.22

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ВСКРЫТИЯ
РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ
РАЗЛИЧНЫХ КОМБИНАЦИЙ КОНВЕЙЕРНОГО ТРАНСПОРТА**

С. В. Лукичѳв, О. В. Белогородцев, Е. В. Громов

*Горный институт КНЦ РАН, E-mail: evgromov@goikolasc.net.ru,
ул. Ферсмана, 24, 184209, г. Апатиты, Россия*

Приведена краткая горно-геологическая характеристика месторождения “Олений ручей” и отражено текущее состояние горных работ на одноименном руднике, входящем в состав ЗАО “Северо-Западная фосфорная компания”. Показаны недостатки схемы вскрытия запасов месторождения для подземной разработки с выдачей руды по вертикальному слепому скиповому стволу и конвейерной штольне на поверхность. Разработаны рациональные схемы вскрытия и подготовки запасов месторождения с учетом поэтапного ввода рудника в эксплуатацию. По предложенным вариантам выполнено укрупненное технико-экономическое сравнение. Показано преимущество поэтапного вскрытия подземных запасов месторождения “Олений ручей” наклонными конвейерными стволами.

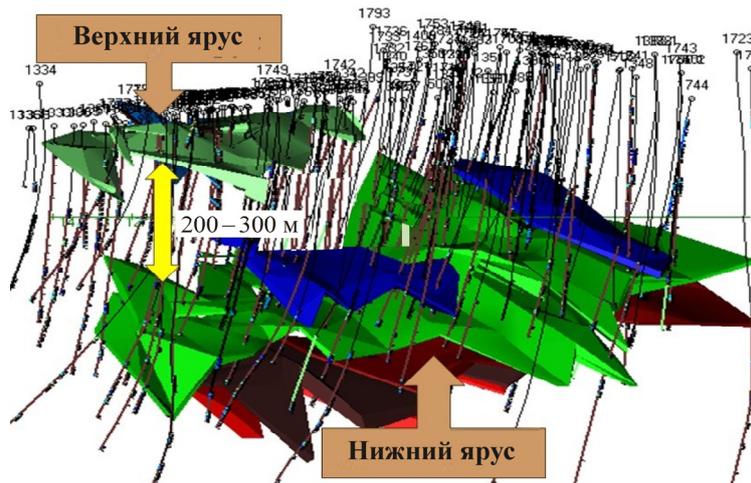
Подземная разработка, схемы вскрытия запасов, шахтный ствол, скип, штольня, камера подъемной машины, камера дробления, конвейер, технико-экономическое сравнение

Месторождение “Олений Ручей” расположено в крайней юго-восточной части Хибинского массива в долинах ручьев Минеральный и Олений на расстоянии 22 км от г. Кировска Мурманской области. С северо-востока оно примыкает к Ньоркпахкскому месторождению, разрабатываемому Восточным рудником АО “Апатит”, и приурочено к склонам гор Ньоркпахк, Суолуайв и Коашкар. Абсолютные отметки рельефа находятся в пределах $+300 \div +700$ м.

Запасы месторождения “Олений ручей” составляют 385.5 млн т. Рудные тела в пределах месторождения сконцентрированы в двух ярусах: верхнем мощностью 200 м и нижнем мощностью от 50 до 330 м, разделенных безрудной толщей мощностью 200 – 300 м (рис. 1) [1, 2].

В настоящее время разработка месторождения ведется открытым способом при годовой производительности рудника 3.0 млн т. Начало добычи подземными горными работами предусматривается в 2016 г. с последующим выходом на производительность по добыче и переработке 6 млн т руды в год к 2020 г., которая будет поддерживаться до 2064 г. Балансовые запасы подземного рудника составляют 353 млн т при бортовом содержании P_2O_5 4%.

Вскрытие запасов месторождения “Олений ручей” для подземной разработки по существующему проекту должно осуществляться тремя штольнями различного назначения с отметок +240 м: транспортной, конвейерной, вентиляционной (рис. 2). Проектом предусматривается строительство трех вертикальных стволов: главного (ГС) № 1 (слепой), воздухоподающего № 1 (слепой) и вспомогательного № 1.



подъема (предварительные расчеты показали, что для скипового подъема капитальные затраты в 2.2 раза, а эксплуатационные в 1.5 раза выше конвейерного транспортирования), невозможность поэтапного ввода рудника в эксплуатацию и разнесения во времени капитальных затрат на строительство вскрывающих выработок, неблагоприятное геомеханическое состояние горного массива в районе строительства камер подъемной машины (высотой 73.3 м и объемом 5 398 м³) и разгрузки скипов (объемом 26 259 м³) ГС-1 [3].

С учетом этого принято решение о проработке альтернативных вариантов вскрытия и подготовки запасов месторождения, которые обеспечили бы снижение затрат и сокращение срока начала работы подземного рудника. С этой целью был выделен первоочередной участок рудника, расположенный выше отметки +0 м [1].

РАЗРАБОТКА РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ПОЭТАПНОГО ВСКРЫТИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «ОЛЕНИЙ РУЧЕЙ»

Подготовка запасов месторождения в отметках +180 ÷ 0 м по новому варианту начинается с проходки участка капитального автоуклона +240/–220 м в отметках +80 ÷ –40 м, который в настоящее время находится в стадии строительства и служит для выдачи пустой породы при проходке, доставки оборудования, людей и материалов в подземный рудник. На отметке +140 м из автосъезда проходятся заезд на подэтаж и вентиляционно-транспортный штрек горизонта +140 м (рис. 3).

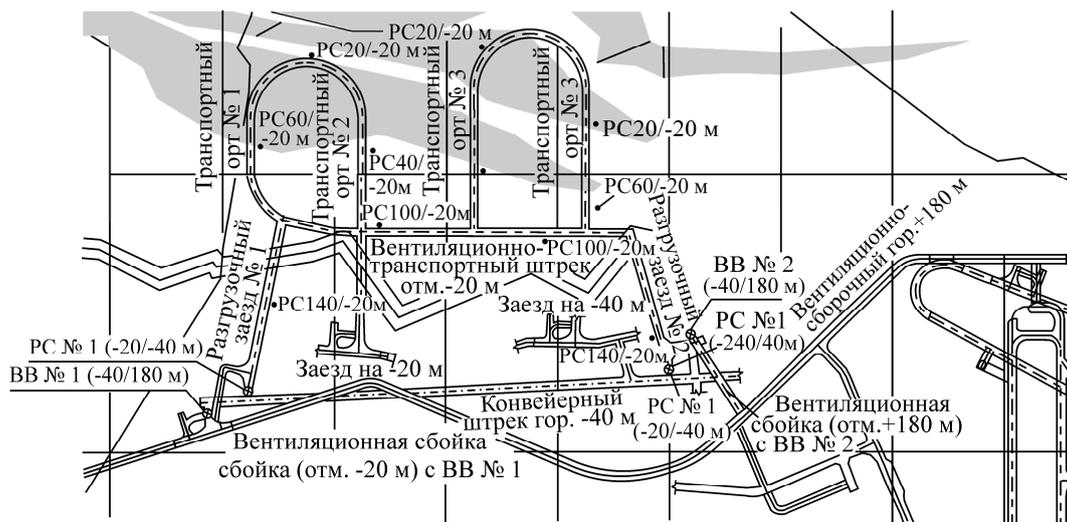


Рис. 3. Схема подготовки запасов участка месторождения при конвейерном подъеме руды

На флангах вскрываемого участка, в лежачем боку за зоной сдвижения горных пород, в отметках +140/–40 м предполагается проведение двух вентиляционных восстающих № 1 и № 2 для выдачи исходящей струи воздуха на вентиляционный горизонт +180 м. Свежий воздух на горизонты поступает от воздухоподающего ствола № 1 по квершлагу на отметке –20 м и по автоуклону +240/–40 м.

Транспортный горизонт расположен на отметке –20 м, где проходятся вентиляционно-транспортный штрек, два транспортных кольца (транспортные орты № 1–4 со сбойками) длиной 350 и 410 м, два разгрузочных заезда к капитальным рудоспускам № 1 и № 2. Рудоспуски проходятся в отметках –20/–40 м.

На концентрационном горизонте с отметкой –40 м проходятся заезд и сборочный конвейерный штрек площадью сечения 21.45 м², камеры дробления и погрузки из рудоспусков № 1 и № 2. Кроме того, подготовительными выработками являются вентиляционные сбойки

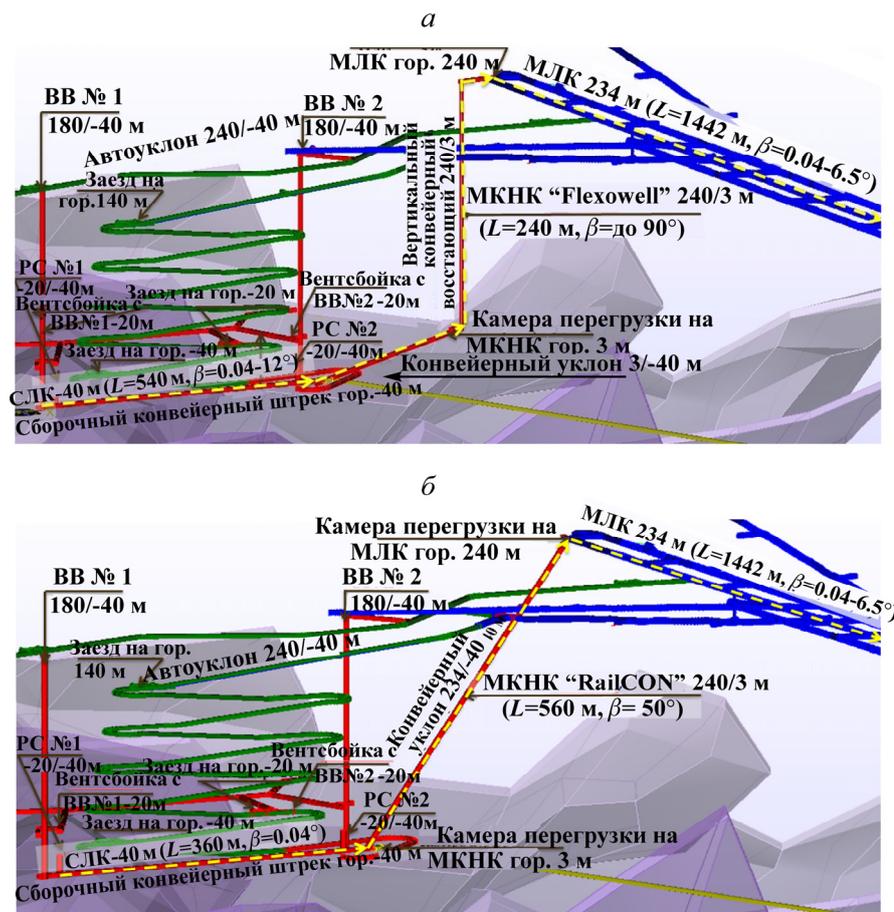


Рис. 5. Схема вскрытия: *а* — № 2 с транспортированием руды горизонтально-наклонным и вертикальным конвейерами; *б* — № 3 с транспортированием руды ленточным и крутонаклонным конвейерами

Схема вскрытия № 3 аналогична варианту № 2. Отличие заключается в том, что вместо вертикального используется крутонаклонный конвейерный подъем с углом наклона $\beta = 50^\circ$ и протяженностью транспортирования $L = 360$ м. При данной схеме сокращается протяженность сборочного конвейера на 180 м (рис. 5б).

В качестве крутонаклонного конвейерного транспортера предлагается использование конвейерной системы "RailCon" производства компании Doppelmayr Transport Technology GmbH (Австрия). Конвейер "RailCon" — это транспортер непрерывного действия, который объединяет в себе преимущества испытанных технологий железной дороги и традиционного ленточного конвейера. Система состоит из плоской ленты с боковыми гофрированными бортами и интегрированными через определенное расстояние колесными парами. Колеса двигаются по рельсам, исключая боковой сход ленты, выполняющей тяговую функцию [8].

Схема вскрытия № 4 предполагает транспортирование руды ленточным конвейером по конвейерному уклону под углом 12° до перегрузочного узла в устье рудоспуска +249/+234 м (рис. 6). Днище рудоспуска оборудуется люковым устройством, которым регулируется перепуск руды на конвейерную штольню. Кроме того, в отметках +249/+234 м проходится автоуклон в камеру перегрузки.

В схеме вскрытия № 5 (рис. 7) предусматривается перегрузка руды с СЛК на магистральный ленточный конвейер, состоящий из трех участков: радиальный наклонный, расположенный в стволе ($\beta = 12^\circ$, $L = 1311$ м), горизонтальный в конвейерной штольне ($L = 287$ м) и наклонный

поверхностный ($\beta = 6.5^\circ$, $L = 155$ м). Магистральным конвейером руда транспортируется в бункер крупнодробленой руды обогатительной фабрики. Отличительной особенностью данного варианта вскрытия является применение криволинейного в плане ленточного конвейера с одним горизонтальным поворотным участком радиусом 1880 м, что позволяет избавиться от необходимости сооружения дополнительных перегрузочных узлов. Большой опыт в проектировании пространственных криволинейных конвейерных систем имеется у компании “Beumergroup” (Германия). Пример такого конвейера — проект, реализованный в провинции Сычуань (Китай), где план трассы представлен 8 поворотными участками с радиусом поворота от 1000 м. Общая протяженность трассы при этом составляет 12.6 км без перегрузочных станций [9].

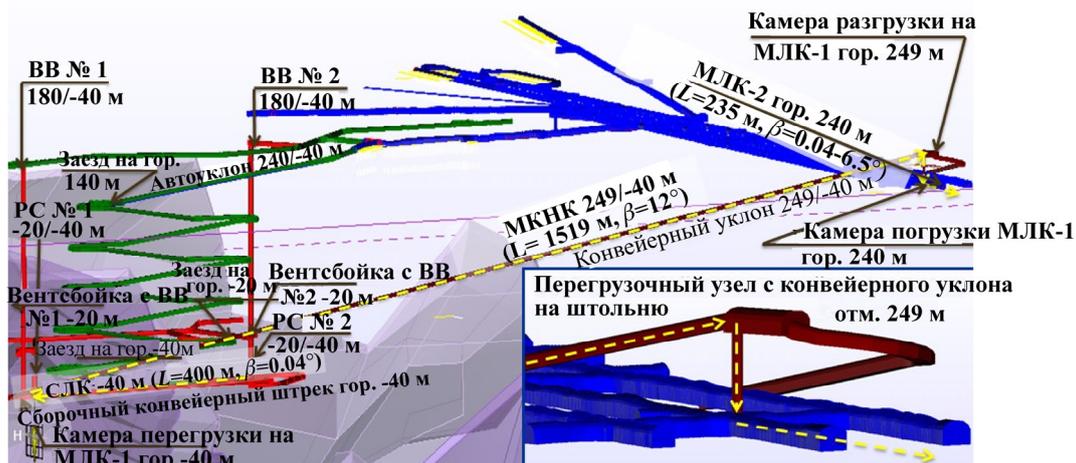


Рис. 6. Схема вскрытия № 4 с транспортированием руды по конвейерному уклону с рудоспуском и штольне

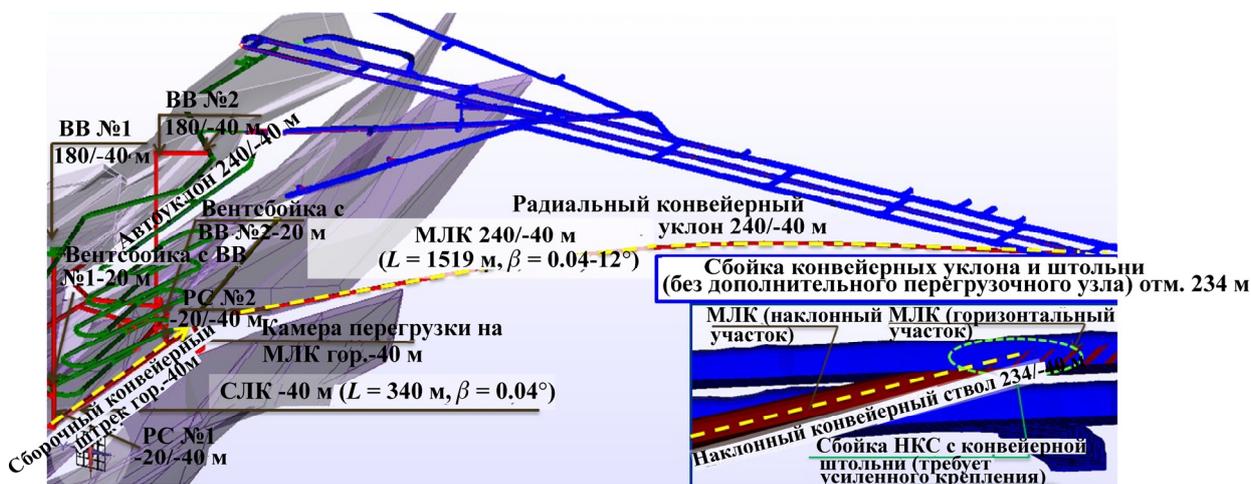


Рис. 7. Схема вскрытия № 5 с транспортированием руды по конвейерным радиальному уклону и штольне

Схема вскрытия № 6 предполагает удлинение СЛК на 120 м в сторону конвейерной штольни до достижения единой вертикальной плоскости в точке перегрузки (отметка + 10 м) на магистральный ленточный конвейер, состоящий, аналогично предыдущему варианту, из трех участков: наклонный, расположенный в стволе ($\beta = 12^\circ$, $L = 1080$ м); горизонтальный в конвейерной штольне ($L = 71$ м); наклонный поверхностный ($\beta = 6.5^\circ$, $L = 155$ м).

Достоинства и недостатки по рассматриваемым вариантам вскрытия, оцененные по наиболее существенным техническим характеристикам, представлены в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1. Технические характеристики рассматриваемых вариантов вскрытия

| Характеристика | Вариант № 1 | Вариант № 2 | Вариант № 3 | Вариант № 4 | Вариант № 5 | Вариант № 6 |
|---|--|---|---|---|---|---|
| Использование существующей конвейерной штольни | <i>Не задействована</i> | Полное использование | Полное использование | 77 м | 71 м | 287 м |
| Освоенность применяемого оборудования | Все оборудование достаточно хорошо освоено на многих рудниках | <i>Небольшой опыт использования вертикальных конвейеров на скальных рудах</i> | <i>Отсутствует опыт эксплуатации КНК типа "RailCop" на подземных рудниках</i> | Все оборудование достаточно хорошо освоено на многих рудниках | Все оборудование достаточно хорошо освоено на многих рудниках | Все оборудование достаточно хорошо освоено на многих рудниках |
| Количество промежуточных перегрузочных узлов | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | 1 |
| Объем горно-проходческих работ, м ³ | 107 480 | 84 590 | 80 585 | 110 277 | 105 611 | 105 678 |
| Дополнительные затраты на строительство и крепление | <i>Строительство портала наклонного ствола</i> | Нет | Нет | <i>Сооружение дополнительного перегрузочного узла, рудоступка и автотъезда к его устью</i> | <i>Крепление конвейерных уклона и штольни в месте стыковки</i> | <i>Крепление конвейерных уклона штольни в месте стыковки</i> |
| Прочие существенные характеристики | Возможность проходы наклонного ствола встречными забоями; <i>изменение транспортной схемы на поверхности</i> | В 2 – 3 раза уменьшается диаметр шахтного ствола, по сравнению с использованием скиповым подъемом; высокий коэффициент технической готовности вертикального конвейера; <i>высокая стоимость конвейерной ленты</i> | Отсутствие присущих традиционным ленточным конвейерам, продольных изгибных циклов в КНК, за счет использования ходовых опор, что повышает срок службы ленты, полностью загрузку и обеспечивает снижение энергоемкости | Возможность проходы наклонного ствола встречными забоями; <i>необходимость приобретения для дополнительного перегрузочного узла</i> | Возможность проходы наклонного ствола встречными забоями; минимум перегрузок за счет применения криволинейного в плане ленточного конвейера | Возможность проходы наклонного ствола встречными забоями; минимум перегрузок; <i>необходимость удлинения штрекового конвейера</i> |

Примечание. Курсивом выделен текст, описывающий отрицательные характеристики вариантов, без курсива — положительные.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОТРАБОТКИ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАЧАЛЬНОГО ПЕРИОДА

Для сравнительной оценки разработанных вариантов схем вскрытия месторождения были выполнены расчеты капитальных затрат на строительство и приобретение основного оборудования по вариантам вскрытия, а также определены эксплуатационные затраты за 10 лет работы дробильно-транспортных комплексов по следующим статьям: вспомогательные материалы, электроэнергия, услуги производственного характера, затраты на оплату труда, отчисления на социальные нужды, амортизация основных фондов.

В качестве исходных данных приняты цены и тарифы на отдельные виды затрат, а также сетка страховых взносов в ПФ РФ, ФСС РФ, ФФОМС и ТФОМС. Основные технико-экономические показатели (ТЭП) по вариантам вскрытия приведены в табл. 2 и на рис. 8. Изменение оценочной себестоимости дробления и транспортирования руды при наращивании производственной мощности подземного рудника от 1 до 6 млн т/год показано на рис. 9.

ТАБЛИЦА 2. Техничко-экономические показатели по схемам вскрытия

| Показатели | Варианты схем вскрытия | | | | | |
|---|------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Годовая добыча руды, млн т: | 1 ÷ 6 | 1 ÷ 6 | 1 ÷ 6 | 1 ÷ 6 | 1 ÷ 6 | 1 ÷ 6 |
| в среднем за расчетный период | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 | 3.6 |
| всего за расчетный период | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 | 36 |
| Период отработки запасов (эксплуатации комплекса), лет | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Срок строительства, лет | 2.2 | 2.3 | 2.3 | 2.2 | 2.2 | 2.2 |
| Капитальные вложения, млн руб.: | 1845.1 | 1814.3 | 1690.0 | 1888.9 | 1813.0 | 1837.9 |
| горно-капитальные работы | 1490.6 | 1270.1 | 1240.6 | 1523.0 | 1462.3 | 1463.0 |
| оборудование | 354.5 | 544.2 | 449.4 | 365.9 | 350.7 | 374.8 |
| Годовые эксплуатационные затраты, млн руб., всего | 232.9 | 237.4 | 222.7 | 242.1 | 233.2 | 237.2 |
| в том числе амортизация | 176.9 | 175.6 | 163.2 | 181.2 | 177.1 | 178.6 |
| Средняя себестоимость 1 т руды, руб. | 64.7 | 65.9 | 61.9 | 67.2 | 64.8 | 65.9 |
| в том числе амортизация основных фондов | 49.2 | 48.8 | 45.3 | 50.3 | 49.2 | 49.6 |
| Эксплуатационные расходы за расчетный период, млн руб., всего | 2329.3 | 2373.9 | 2226.8 | 2420.6 | 2331.9 | 2371.6 |
| в том числе амортизация | 1769.5 | 1755.7 | 1631.9 | 1812.4 | 1771.1 | 1786.0 |

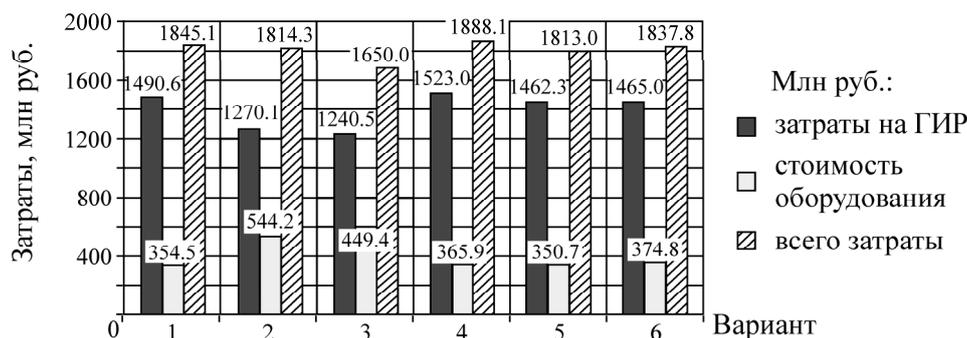


Рис. 8. Затраты на строительство и приобретение оборудования дробильно-конвейерных комплексов по вариантам схем вскрытия: 1 — наклонный конвейерный ствол; 2 — вертикальный конвейерный восходящий; 3 — крутонаклонная конвейерная выработка; 4 — конвейерный с вертикальным рудоспуском; 5 — конвейерный радиальный уклон; 6 — конвейерный уклон

Анализируя представленные результаты, следует отметить, что минимальные капитальные вложения характерны для варианта № 3 с транспортированием руды по горизонтальным и крутонаклонному конвейерам, что в большей степени обусловлено наименьшими объемами горно-

проходческих работ. Установленные зависимости себестоимости дробления и транспортирования руды от роста годовой производительности рудника показывают тенденцию к ее планомерному снижению с наращиванием производственной мощности по всем схемам вскрытия. При минимальных значениях производительности наиболее экономичными являются варианты № 5, 6 (комбинации горизонтальных и наклонных конвейеров), однако по достижении ее значений в 2.5 млн т/год и более наибольший экономический эффект достигается при транспортировании руды в соответствии с вариантом № 3. Однако ввиду отсутствия опыта эксплуатации крутонаклонных конвейеров типа “RailCon” в подземных условиях предпочтение отдается варианту № 5.

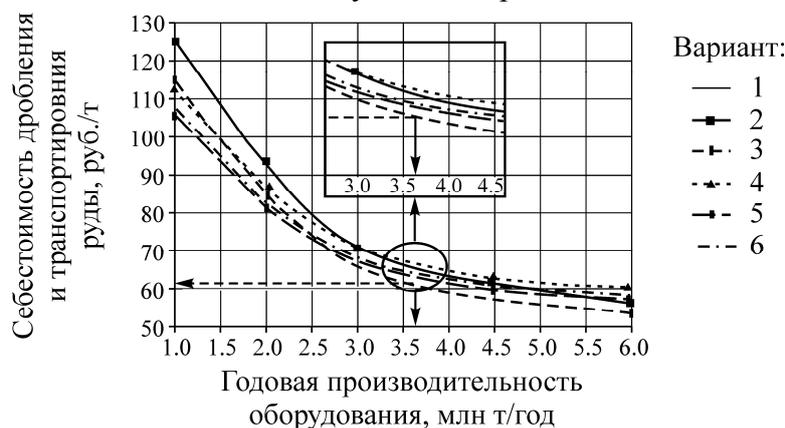


Рис. 9. Изменение себестоимости дробления и транспортирования руды при наращивании производственной мощности: средняя производительность за расчетный период — 3.6 млн т/год, минимальная себестоимость при этом — 61.9 руб./т

Сравнение времени и затрат на строительство пускового комплекса подземного рудника по рекомендованному и существующему (проектному) варианту схем вскрытия представлено в табл. 3. Оценка затрат выполнялась на основе сравнения различающихся конструктивных элементов схем вскрытия, одноименные элементы из сравнения исключены. Различными были типы и расположение главных рудовых выработок, а также транспортных выработок концентрационных горизонтов. Соответственно эффект представляется в виде разницы временных и денежных затрат по совокупности разноименных элементов между вариантами схем вскрытия.

ТАБЛИЦА 3. Основные ТЭП существующего (проектного) и предлагаемого вариантов вскрытия

| Показатели | Проектный вариант | Предлагаемый вариант |
|--|-------------------|----------------------|
| Объем вскрываемых запасов, млн т | 123.89 | 37.08 |
| Объем ГПР на пуск 1-й очереди рудника в эксплуатацию, м ³ | 334 505 | 89 000/297 260* |
| Продолжительность строительства, лет | 5.8 | 2.2 |
| Капитальные затраты на строительство, млн руб. | | |
| горно-капитальные работы | 5 286 | 1 300/4342* |
| технологическое оборудование | 1 116 | 350/1169* |

*Значения, приведенные к объемам вскрываемых запасов проектного варианта.

Из табл. 3 видно, что предлагаемый вариант позволяет в 2.6 раза сократить сроки ввода рудника в эксплуатацию, уменьшить объем первоначальных капитальных вложений на строительство пускового комплекса и приобретение технологического оборудования на 4.75 млрд руб. Далее капитальные затраты распределяются во времени при строительстве последующих 2–3 очередей. Полное вскрытие запасов, предусмотренных проектным вариантом, по предложенной схеме позволяет сократить суммарные объемы ГПР на 37.25 тыс. м³, снизить объем капитальных вложений на строительство и приобретение технологического оборудования на 891 млн руб.

ВЫВОДЫ

Учитывая сложности при реализации проектного варианта вскрытия с использованием скипового подъема, рассмотрены шесть вариантов вскрытия месторождения с применением конвейерного транспорта, что обеспечивает поэтапный ввод рудника в эксплуатацию, сокращает сроки строительства и позволяет распределить во времени капитальные затраты.

В результате выполненных расчетов по предложенным вариантам установлено:

— затраты на проходку горно-капитальных выработок и шахтное оборудование, а также сроки строительства по вариантам близки между собой;

— объем проходки для вариантов с вертикальным и крутонаклонным конвейерными восстающими меньше на 20–25 тыс. м³, а затраты — на 200–250 млн руб. Однако за счет использования дорогостоящего конвейерного оборудования суммарные затраты различаются незначительно;

— минимальная себестоимость дробления и конвейерного транспортирования руды по вариантам при средней производительности за 10 лет эксплуатации в 3.6 млн т/год характерна для варианта № 3 (61.9 руб./т), наиболее близкими являются варианты № 1 и № 5 (64.7 и 64.8 руб./т).

На основе калькуляции затрат по вариантам вскрытия может быть рекомендован вариант № 5, предполагающий транспортирование руды горизонтальными и наклонными ленточными конвейерами по криволинейной в плане схеме расположения магистрального конвейера. Затраты на приобретение оборудования по данному варианту составят 350.7 млн руб. Эксплуатационные расходы за рассматриваемый период 2.3 млрд руб. (в том числе амортизация 1.77 млрд руб.).

Анализ способов вскрытия запасов глубокозалегающих месторождений с использованием скипового и перспективных типов конвейерного транспорта руды показал преимущество конвейерного транспорта как с точки зрения сокращения сроков ввода в эксплуатацию подземного рудника, так и снижения капитальных и эксплуатационных расходов и возможности распределения во времени затрат на строительство схемы вскрывающих выработок. Все это способствует ускоренному формированию положительных финансовых потоков в процессе эксплуатации рудника.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Леонтьев А. А., Белогородцев О. В., Громов Е. В. Вскрытие глубоких горизонтов карьера “Железный” Ковдорского месторождения комплексных руд транспортными выработками подземного рудника: сб. науч. докл. на конф. — Апатиты: Изд-во КНЦ, 2012.
2. Леонтьев А. А., Белогородцев О. В., Громов Е. В. Вскрытие глубоких горизонтов карьера “Железный” Ковдорского ГОКа подземными выработками // ГИАБ. — 2013. — № 4.
3. Пертен Ю. А. Конвейеры: справочник. — Л.: Машиностроение, 1984.
4. Галкин В. И., Дмитриев В. Г., Дьяченко В. П., Запенин И. В., Шешко Е. Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. — М.: Горная книга, 2011.
5. Мельников Н. Н., Лукичѳв С. В., Наговицын О. В. Компьютерная технология инженерного обеспечения горных работ на основе системы MINEFRAME // ГИАБ. — 2013. — № 5.
6. Лукичѳв С. В., Наговицын О. В. Автоматизированные инструменты инженерного обеспечения горных работ в системе MINEFRAME // ГИАБ. — 2013. — № 7.
7. Громов Е. В., Леонтьев А. А., Белогородцев О. В. Выбор транспортной схемы для выдачи руды при комбинированной разработке месторождений полезных ископаемых (на примере рудника “Железный” Ковдорского ГОКа) // Изв. вузов. Горн. журн. — 2013. — № 8.
8. Довженко М. В. Результаты эксплуатации системы вертикального конвейерного транспорта // Горн. пром-сть. — 2008. — № 5.
9. Твердов А. А., Жура А. В., Никишичев С. Б. Современные системы транспортировки полезных ископаемых и вскрышных пород // Горн. пром-сть. — 2012. — № 2.
10. Галкин В. И., Шешко Е. Е. Обоснование целесообразности применения специальных видов ленточных конвейеров на карьерах // Машины и оборудование для открытых горных работ: материалы конф. — М.: Крокус-Экспо, 2013.

Поступила в редакцию 11/IX 2014