

УДК 622.61/.67

Громов Евгений Викторович

научный сотрудник,
Горный институт КНЦ РАН,
184209, г. Апатиты, Мурманская обл.,
ул. Ферсмана, д. 24
e-mail: evgromov@goi.kolasc.net.ru

**ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ
РЕКОНСТРУКЦИИ ПОДЗЕМНОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ СХЕМЫ РУДНИКА
ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА ПЕРСПЕКТИВНЫЕ
СПОСОБЫ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
РУДЫ (НА ПРИМЕРЕ ГОР. +170 М
КУКИСВУМЧОРРСКОГО
МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

Аннотация:

Представлена проблематика сохранения эффективности работы подземных транспортных комплексов при освоении месторождений с большим сроком эксплуатации. На примере отработки запасов руды бл.7/10 гор.+170 м Кукисвумчоррского месторождения Объединенного Кировского рудника АО «Апатит» разработаны рациональные варианты модернизации схемы транспортирования руды с переходом на альтернативные виды транспорта. Для предложенных вариантов выполнено технико-экономическое сравнение с существующей транспортной схемой. Обоснована целесообразность применения инновационной транспортной системы «Rail-Veyor», представляющей комбинацию конвейерного и железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: транспортная схема, месторождение, подземная разработка, технико-экономическое сравнение, дисконтирование затрат, автосамосвал, электровозный транспорт, дробильно-конвейерный комплекс, Rail-veyor

DOI: 10.18454/2313-1586.2017.01.038

Gromov Eugene V.

researcher,
The Mining Institute KSC RAS,
184209, Apatite Murmansk region,
24 Fersman st..
e-mail: evgromov@goikolasc.net.ru

**GROUNDING THE POSSIBILITY
OF RECONSTRUCTION
THE UNDERGROUND
MINE TRANSPORT SYSTEM
BY TRANSITION TO PERSPECTIVE
ORE TRANSPORTATION PROCESSES
(ON THE EXAMPLE OF +170 M LEVEL
OF THE KUKISVUMCHORSKY DEPOSIT)**

Abstract:

The range of problems of maintaining the underground transport systems efficiency during the development long-term exploration deposits is presented. . On the example of mining block 7-10 +170m level of the Kukisvumchorsky deposit ore reserves of the United Kirovsky mine of JSC «Apatite» rational modernization schemes of ore transportation are worked out by transition to alternative modes of transport. For the proposed variants technical-and-economic comparison with the existing transportation scheme is performed. The expediency of the “Rail-Veyor” innovative transport system is grounded; it presents a combination of conveyor and rail transport.

Key words: transport scheme, deposit, underground mining, technical-and-economic comparison, expenses discounting, dump truck, locomotive transport, the “Rail-Veyor” crushing and conveying complex.

Введение

Повсеместное понижение глубины ведения горных работ, снижение качества полезных компонентов в рудах, вовлечение в отработку месторождений со сложными горно-геологическими условиями залегания – все это требует постоянного развития и совершенствования техники и технологии горного производства, модернизация которых в свою очередь влечет за собой необходимость изменения структуры технологических процессов, их адаптацию к изменяющимся внешним факторам и стандартам.

Так, при отработке мощных месторождений с большим сроком эксплуатации существующие транспортные схемы рудников зачастую постепенно теряют свою эффективность, т. к. с течением времени начинают в недостаточной мере соответствовать изменившимся требованиям в области энергоэффективности, автоматизации и безопасности производства. В подобных случаях возникает вопрос о целесообразности перехода на новые перспективные виды транспорта и о модернизации существующих транспортных систем.

На эффективность перехода на новые схемы транспортирования в условиях работающего предприятия оказывают влияние следующие основополагающие факторы:

- возможность обеспечения бесперебойной работы эксплуатируемой транспортной схемы в период строительства новой;
- максимальное использование инфраструктуры существующего транспортного комплекса рудника после ее усовершенствования;
- минимальные капитальные затраты, связанные со строительством новых транспортных выработок и приобретением необходимого оборудования [1].

*Описание существующей транспортной схемы гор. +170 м
Кукисвумчоррского месторождения*

На всех концентрационных горизонтах Объединенного Кировского рудника АО «Апатит» эксплуатируется кольцевая схема откатки руды по однопутевым, а на главных откаточных штреках по двухпутевым выработкам с применением электровозного транспорта. Откатка горной массы производится электровозами 2К-14 (спарка) и К-14 в вагонетках ВГ-9А по рельсам железнодорожной узкой колеи типа Р-43 и Р-50.

После погрузки горной массы в железнодорожные вагоны из участковых рудопусков (рис. 1), оборудованных вибропитателями типа ВДПУ-4ТМ, составы направляются к станциям разгрузки № 1, 2, которые оснащены круговыми опрокидывателями типа ОКР.

В период 2015 – 2019 гг. в связи с реконструкцией Главного ствола № 1 весь рудный грузопоток с гор. + 170 м планируется перепускать в комплексы подземного дробления (КПД) Главного ствола № 2.

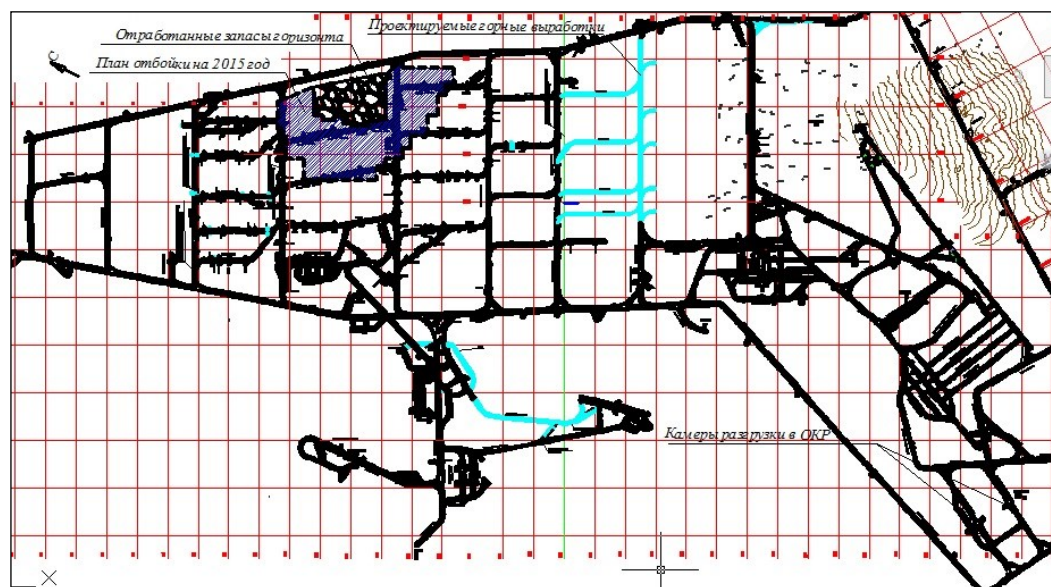


Рис. 1 – Концентрационный гор. +170 м при эксплуатации электровозного транспорта

Разработка альтернативных вариантов транспортирования руды

В качестве базовой рассматривается существующая схема транспортирования (вариант № 1), представленная выше.

Разработка перспективных вариантов реконструкции транспортной схемы выполнена на примере транспортирования запасов руды бл. 7/10 гор. +170 м, отработка которого предусмотрена сразу после окончания очистных работ в бл. 10/14, разрабатываемом в настоящее время.

Предполагаемые варианты транспортных схем, в зависимости от видов применяемого оборудования, предусматривают:

- эксплуатацию дробильно-конвейерных комплексов (ДКК) с использованием мобильных или полустационарных дробилок (вариант № 2);
- транспортирование руды седельными тягачами типа «Scania» G480CA6x4ESZ E5, оборудованными автосамосвальными полуприцепами (вариант № 3);
- применение транспортной системы «Rail-veyor», представляющей комбинацию конвейерного и железнодорожного транспорта (вариант № 4).

Вариант № 2

Согласно данному варианту транспортирования, руда, поступающая на гор. +170 м по рудоспускам, предварительно проходит стадию крупного дробления. Далее сборочными ленточными конвейерами (СЛК) она передается через рудоспуски на гор. +150 м, оборудованный магистральными конвейерами (МЛК-1 и МЛК-2), по которым руда поступает на существующий наклонный конвейерный ствол гор. +170 м. Схема подготовки бл. 7/10 гор. +170 м с использованием конвейерного транспорта представлена на рис. 2.

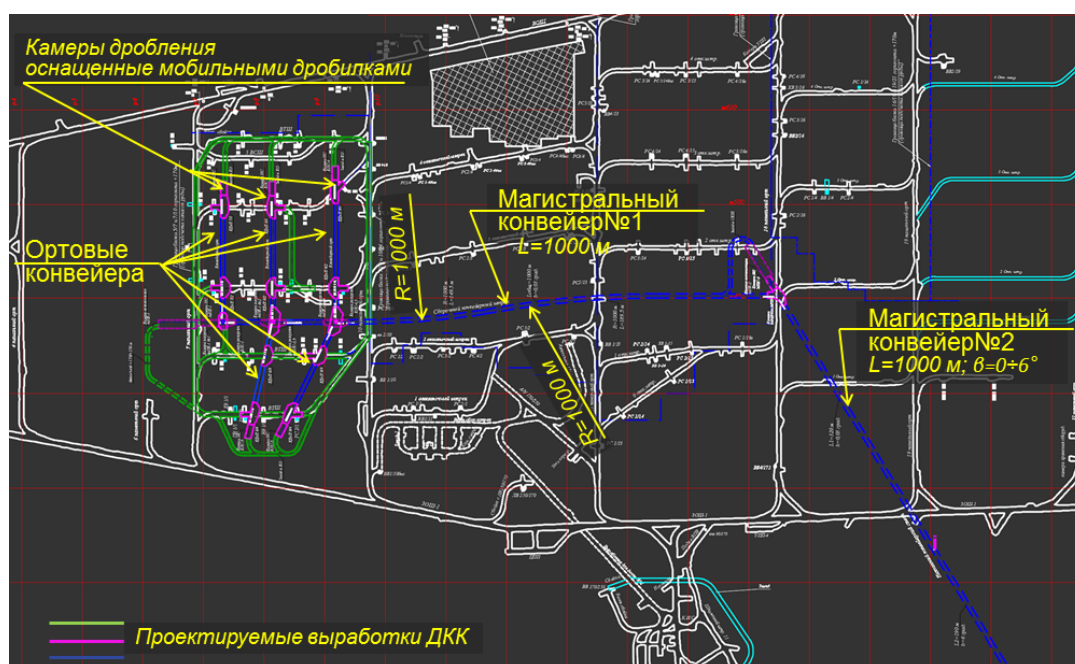


Рис. 2 – Схема транспортного гор. +170 м с использованием ДКК

В целях оптимизации расстояния транспортирования при отработке последующих блоков, конвейер МЛК-1 проложен по криволинейной траектории с 2 поворотами в плане радиусом 1000 м. Чтобы сократить затраты на приобретение оборудования дробления и выпуска, предусматривается эксплуатация 3-х мобильных или полустационарных дробилок типа «Hazemag» SK 1310, работающих под навалом руды и не требующих устройства вибропитателей [2, 3]. Главные откаточные выработки, окольцовывающие бл. 7/10, остаются не задействованными в процессе транспортирования в период строительства, что позволяет сохранить полноценную работу электровозного транспорта.

Вариант № 3

Данная технологическая схема предусматривает использование поверхностных седельных тягачей типа «Scania» G480CA6x4ESZ E5, оснащенных каталитическими нейтрализаторами выхлопных газов, оборудованных автосамосвальными полуприцепами «Новтрак» грузоподъемностью 66 т.

Опытная эксплуатация подобных автосамосвалов выполнялась на Удачинском ГОКе АО «Алроса», где после модернизации кузова полуприцепа были получены поло-

жительные результаты, обусловленные повышением коэффициента технической готовности с 0,55 до 0,84 и снижением себестоимости транспортирования в 2 раза по сравнению с традиционными автосамосвалами. Общий вид автосамосвала с полуприцепом представлен на рис. 3.



Рис. 3 – Автосамосвал «Scania», разработанный для АО «Алроса» [4]

Погрузка автосамосвалов осуществляется аналогично варианту № 1. Разгрузка руды происходит в бункера корпуса крупного дробления (ККД) у главного ствола № 2 (ГС-2), расположенные в камерах опрокидывателей № 1, 2. Чтобы сохранить работу электровозного транспорта в период строительства транспортной схемы, разгрузка руды будет осуществляться в камерах опрокидывателей № 1, 2 у ГС-1 (рис. 4). Применение на откатке горной массы грузовиков «Scania» позволяет сократить затраты на приобретение парка техники по сравнению со специализированными подземными автосамосвалами других зарубежных производителей [5, 6].

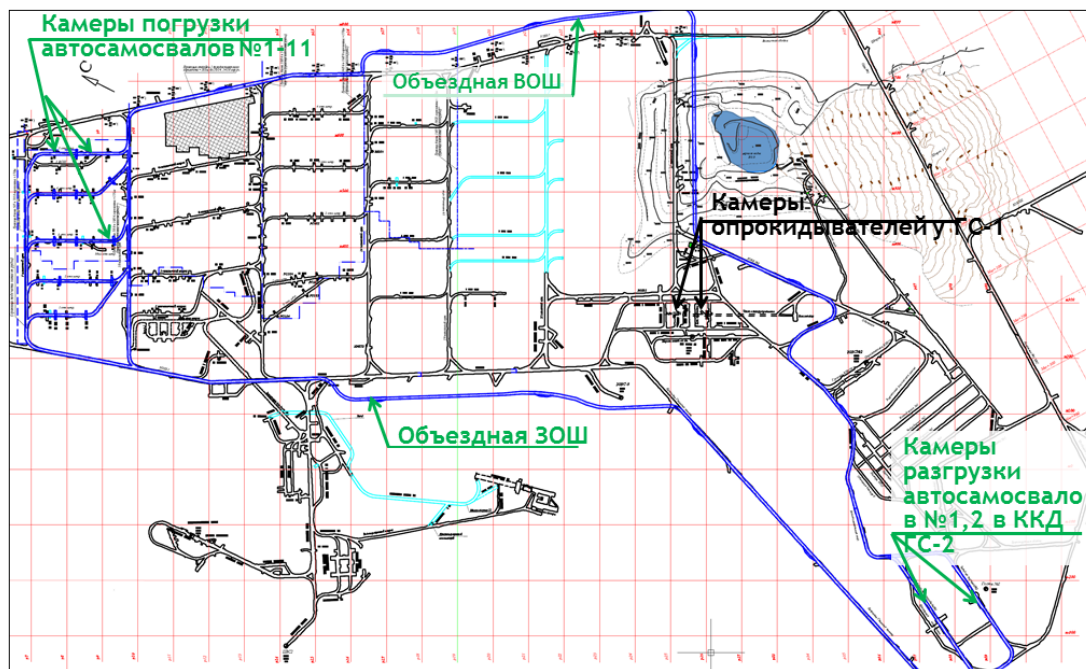


Рис. 4 – Схема транспортного гор.+170 м с использованием автомобильного транспорта

Вариант № 4

Транспортирование горной массы предполагается осуществлять при помощи системы «Rail-veyor» (Канада) (рис. 5). Система состоит из ряда вагонеток на одноосном рельсовом ходу, выполненных в форме открытых желобов, шарнирно-сочлененно соеди-

ненных между собой посредством специальной вилки, позволяющей двигаться криволинейно с горизонтальными радиусами от 15 до 20 м. Для передвижения поездов не требуется их оснащения двигателями, т. к. используются расположенные через определенное расстояние тяговые приводные станции, перемещающие поезда при помощи боковых шин, что позволяет экономить электроэнергию.



Рис. 5 – Общий вид транспортной системы «Rail-veyor» [6]

Управление системой осуществляется дистанционно с пульта диспетчера, расположенного, как правило, на поверхности рудника. Длина такого поезда может достигать 402 м при грузоподъемности до 170 т. Распределение веса поезда по его длине существенно снижает удельную нагрузку на транспортные пути и дает возможность использовать облегченные рельсы типа Р-18 без устройства шпал. Транспортная схема при данном варианте аналогична варианту № 3 с разгрузкой в ККД ГС-2 посредством переворота вагонеток на 180 градусов. Процессы погрузки и разгрузки могут осуществляться непрерывно [6].

Общий вид подземной разгрузочной станции на шахте «Phakisa» (ЮАР) приведен на рис. 6 [7].

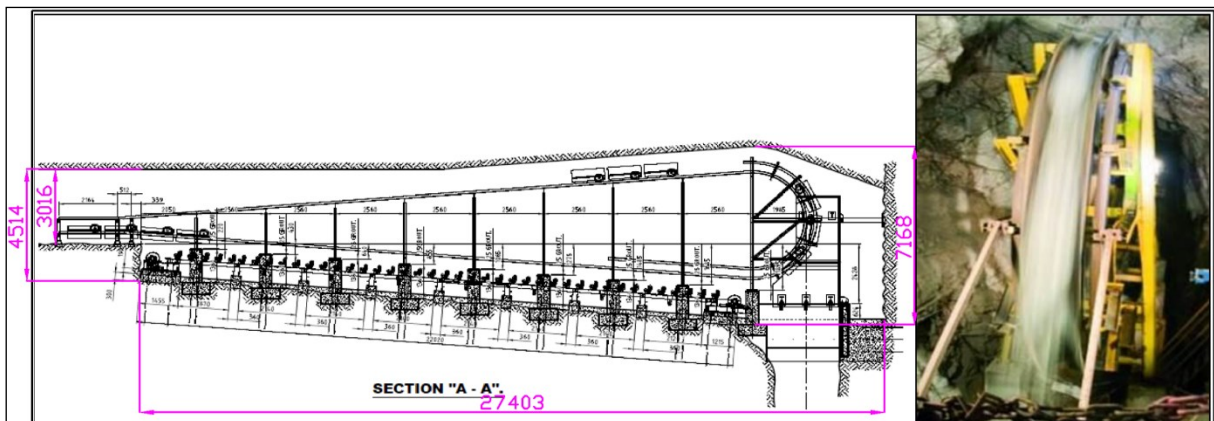


Рис. 6 – Станция разгрузки системы «Rail-veyor» на шахте «Phakisa» (ЮАР) [7]

Среди отечественных разработок в области развития подземного транспорта можно выделить автопоезд типа АШ-75, разработанный совместно ИГД УрО РАН и НИПИГормаш в 1980-х годах. Автопоезд конструктивно представляет собой своего рода промежуточное звено между вариантами № 3, 4. АШ-75 был предназначен для транспортирования абразивной горной массы по подземным выработкам сечением 10 м² и более с грузоподъемностью до 75 т [8].

Достоинства и недостатки по рассматриваемым вариантам представлены в табл. 1.

Характеристики вариантов транспортирования руды по гор. +170 м

Вариант транспортирования	Достоинства	Недостатки
Вариант № 1 (существующий)	<ul style="list-style-type: none"> - не требуется изменения транспортной схемы; - не требуется приобретения оборудования; - оборудование отечественного производства. 	<ul style="list-style-type: none"> - высокие расходы, связанные с поддержанием транспортных коммуникаций; - длительность операций погрузки и разгрузки руды; - высокий расход электроэнергии; - значительный штат рабочего персонала.
Вариант № 2	<ul style="list-style-type: none"> - высокая степень автоматизации ДКК; - относительно низкие эксплуатационные расходы; - возможность работы без вибропитателей. 	<ul style="list-style-type: none"> - требуются значительные изменения транспортной схемы; - высокие капитальные затраты на проведение горных выработок и приобретение оборудования; - необходимость предварительного дробления руды.
Вариант № 3	<ul style="list-style-type: none"> - относительно невысокая стоимость приобретаемого оборудования; - использование существующих транспортных выработок; - мобильность. 	<ul style="list-style-type: none"> - значительные расходы на раскопку горных выработок; - высокие затраты на дизельное топливо; - трудности с проветриванием горных выработок; - значительный штат рабочего персонала.
Вариант № 4	<ul style="list-style-type: none"> - использование существующих транспортных выработок; - незначительные затраты на раскопку выработок в связи с малыми габаритами оборудования; - высокая автоматизация, простота и безопасность системы; - наиболее низкие эксплуатационные расходы; - дешевизна и быстрота монтажа дорожного пути. 	<ul style="list-style-type: none"> - высокие капитальные затраты на приобретение оборудования; - незначительный опыт эксплуатации.

Технико-экономическое сравнение вариантов транспортирования

Определение капитальных затрат выполнено по статьям:

- горнопроходческие работы;
- раскопка существующих горных выработок;
- приобретение и монтаж оборудования транспортных комплексов.

Результаты расчетов сведены в табл. 2.

Расчет эксплуатационных затрат для базового варианта № 1 и проектируемых схем транспортирования (варианты № 2 – 4) выполнен за период отработки запасов бл. 7/10 гор. +170 м по следующим статьям расходов:

- вспомогательные материалы;
- электроэнергия;
- услуги производственного характера;
- затраты на оплату труда;
- отчисления на социальные нужды;
- амортизация основных фондов.

Таблица 2

Капитальные затраты по разработанным вариантам транспортирования

N п/п	Статьи затрат	Варианты транспортирования		
		Вариант № 2	Вариант № 3	Вариант № 4
1	Проведение горных выработок, тыс. руб.	1 012 264,5	506 813,0	230 938,6
2	Раскопка существующих горных выработок, тыс. руб.	42 288,7	684 898,2	35 419,9
3	Приобретение и монтаж оборудования, тыс. руб.	489 059,4	304 120,1	436 800
	Всего, тыс. руб.	1 543 612,6	1 495 831,3	703 158,5

Сводные эксплуатационные расходы представлены на рис. 7.

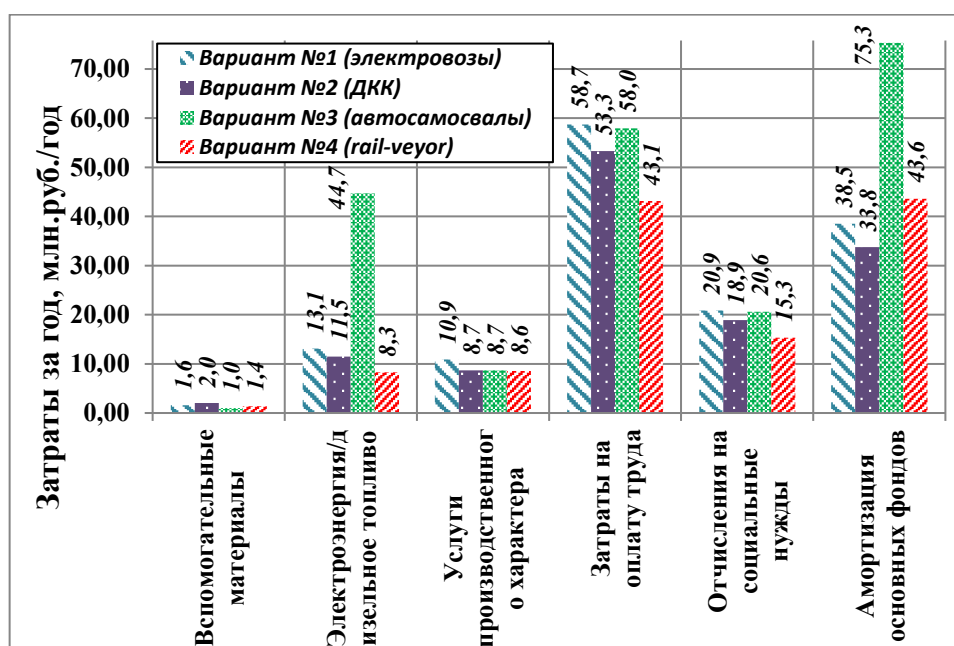


Рис. 7 – Распределение эксплуатационных расходов между вариантами транспортирования

Затраты на горнопроходческие работы распределены по потонной ставке пропорционально запасам руды, приходящимся на них. Затраты на конвейерный поезд определены по данным компании «Rail-Veyor Technologies Global Inc», а также по стандартным методикам расчетов.

Из графика видно, что наибольшие расходы свойственны варианту № 3 с применением автомобильного вида транспорта. Наименьшие операционные расходы характерны для вариантов № 2 и 4 благодаря высокой степени автоматизации и энергоэффективности этих транспортных систем.

При оценке финансово-экономической эффективности инвестиционного проекта с целью учета неравноценности сумм платежей, относящихся к разным временным периодам, а также снижения стоимости денежных ресурсов с течением времени выполняется дисконтирование денежного потока. При этом с учетом методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов при инвестировании в условиях работающего предприятия норма дисконтирования может быть уменьшена с поправкой на снижение рисков [9]. С учетом этих факторов в работе выполнена оценка затрат на строительство и эксплуатацию транспортных комплексов за 25 лет работы гор. +170 м. Расчет производился как с учетом дисконтирования (поскольку при временных лагах более 10 лет и стандартной ставке дисконта 10 – 12 % затраты практически нивелируются, принята ставка дисконта, равная 5 %) (рис. 8а), так и без него (рис. 8б).

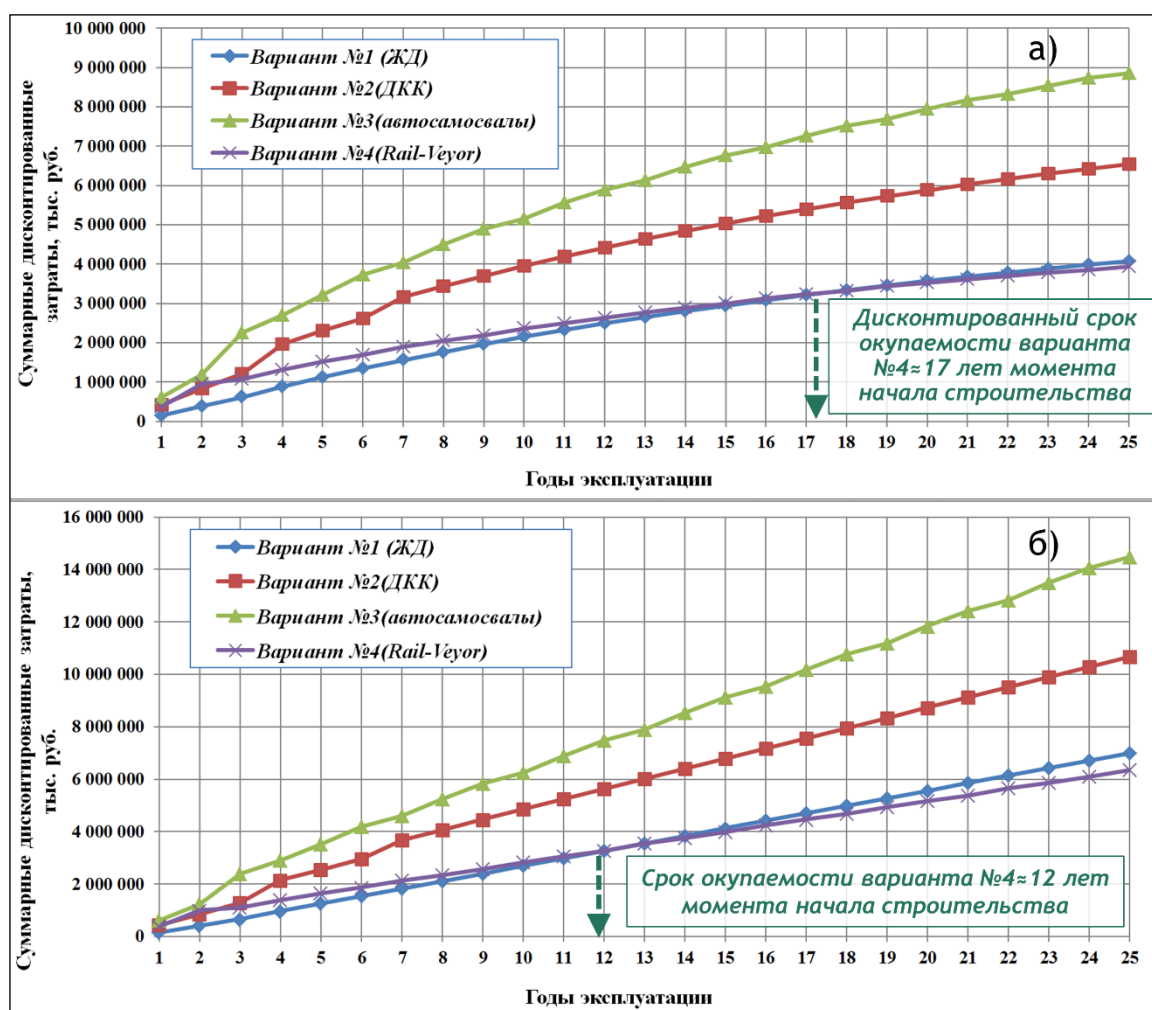


Рис. 8 – Суммарные затраты на строительство и эксплуатацию транспортных комплексов за 25 лет работы гор. +170 м:
а) с учетом дисконтирования; б) без учета дисконтирования

Основные технико-экономические показатели (ТЭП) по рассматриваемым вариантам представлены в табл. 3.

Таблица 3

Основные ТЭП по рассматриваемым вариантам

Наименование показателей	Единицы измерения	Варианты			
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Годовая добыча руды	млн т	2-4	2-4	2-4	2-4
Капитальные вложения:	млн руб.	0,00	1543,6	1495,8	703,2
- горно-капитальные работы	"-	0	1054,5	1191,7	266,4
- оборудование	"-	0,00	489,1	304,1	436,8
Годовые эксплуатационные затраты, всего	"-	143,7	128,1	208,3	120,4
в том числе амортизация	"-	38,53	33,8	75,3	43,6
Себестоимость дробления и транспортирования 1 т руды, всего	руб.	71,87	64,1	104,1	60,2
в т. ч. амортизация основных фондов	"-	19,26	16,9	37,7	21,8
Себестоимость дробления и транспортирования 1 т руды (с учетом дополнительных затрат на погашение ГПР)	"-	71,87	141,4	137,0	67,9
Суммарные денежные затраты за 25 лет, всего	млн руб.	7000	10667	14482	6351
- то же с учетом дисконтирования (ставка дисконта 5%)	"-	4069	6545	8856	3930

Выводы

Результаты выполненной технико-экономической оценки целесообразности модернизации транспортной схемы гор. +170 м Объединенного Кировского рудника АО «Апатит» с переходом на альтернативные виды транспорта позволяют говорить о том, что из всех рассматриваемых вариантов наиболее затратным является вариант с применением автосамосвалов, который уступает существующей схеме уже на стадии оценки эксплуатационных расходов на 45 %. Основными причинами являются высокие расходы на дизельное топливо и амортизационные отчисления.

Меньшие затраты характерны для вариантов с применением ДКК и конвейерных поездов. Экономия по эксплуатационным расходам относительно базового варианта с электровозным транспортом составляет 22,4 и 33,5 %, соответственно. Однако варианту с ДКК свойственны высокие затраты на дополнительные горнопроходческие работы – 1,54 млрд руб. (по сравнению с 0,7 млрд руб. для конвейерных поездов). При погашении этих затрат на количество промышленных запасов руды по потонной ставке себестоимость дробления и транспортирования по вариантам с ДКК и конвейерными поездами составит 141,4 и 67,9 руб./т, тогда как для существующей схемы она равна 71,87 руб./т.

При рассмотрении кумулятивных денежных затрат за 25 лет эксплуатации транспортных схем видно, что инвестирование в строительство транспортной схемы для конвейерных поездов окупается относительно базового варианта через 12 лет без учета дисконтирования и через 17 лет с дисконтированием при ставке дисконта 5 %.

Таким образом, установлено, что при отработке рассматриваемого блока горизонта +170 м может быть целесообразен переход на транспортную схему с применением конвейерных поездов, что не потребует существенных изменений в схеме транспортных коммуникаций и окупается в течение времени отработки запасов горизонта.

Литература

1. Лукичев С.В. Обоснование способов вскрытия рудных месторождений с применением различных комбинаций конвейерного транспорта / С.В. Лукичев, О.В. Белгородцев, Е.В. Громов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. - 2015. - № 3. – С. 72 - 82.
2. Громов Е.В. Разработка способов вскрытия глубокозалегающих рудных месторождений с применением современных типов конвейерного транспорта / Е.В. Громов // Проблемы недропользования. – 2015. – Вып. 2. – С. 62 - 74.
3. Громов Е.В. Обоснование способов вскрытия рудных месторождений с применением различных типов конвейеров / Е.В. Громов // Сборник научных трудов Кольского филиала ПетрГУ. – Вып. 8. – Апатиты: КФ ПетрГУ, 2015. - С. 4 - 9.
4. «Север-Скан» поставил самосвальные автопоезда Scania R620 крупнейшей алмазодобывающей компании «АЛРОСА» [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL <http://www.severscan.ru/>
5. Зырянов И.В. Опыттно-промышленная эксплуатация многозвенных автопоездов Scania в Удачинском ГОКе / И.В. Зырянов, А.П. Павлов // Горная промышленность. - 2014. - № 6.– С. 38 – 40.
6. Rail-Veyor material handling system [Электронный ресурс] - Режим доступа: URL <http://www.railveyor.com/>
7. Rail-veyor / B. Nel, A. Pretorius // IBR underground mining conference Phakisa mine. - 2013. - 51 p.
8. Яковлев В.Л. Новые специализированные виды транспорта для горных работ / В.Л. Яковлев, П.И. Тарасов, А.Г. Журавлев // Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 375 с.
9. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов / Н.Г. Алешинская и др. - М.: Экономика, 2004. – 221 с.