

УДК 622.274

**Никитин Игорь Владимирович**,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
лаборатория подземной геотехнологии,  
ИГД УрО РАН,  
620075, Екатеринбург,  
ул. Мамина-Сибиряка, 58  
e-mail: [opening-kp@yandex.ru](mailto:opening-kp@yandex.ru)

**ИЗЫСКАНИЕ И ОЦЕНКА ПУТЕЙ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ВСКРЫТИЯ ЗАПАСОВ ШАХТНОГО ПОЛЯ  
ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ  
КРУПНЫХ КРУТОПАДАЮЩИХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ\***

*Аннотация:*

Исчерпание потенциала открытой геотехнологии при освоении крупных крутопадающих месторождений малоценных руд, вызванное проблемой невозможности расширения контуров карьеров по поверхности, актуализирует задачу технико-экономического обоснования целесообразности перехода на завершающем этапе на комбинированный способ их разработки. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения эффективности вскрытия запасов шахтного поля. На основе анализа мирового опыта и тенденций развития схем вскрытия предложен комплекс организационно-технических решений, направленных на повышение эффективности вскрытия запасов шахтного поля, основными из которых являются разделение шахтного поля по высоте на очереди вскрытия, организация вентиляционно-сборочного горизонта с группой коротких вентиляционных восстающих в карьер, использование штольневых горизонтов для транспортирования руды от скипового ствола до перегрузочного пункта в карьере. Для условий комбинированной разработки Баженовского месторождения хризотил-асбеста разработана эффективная схема вскрытия запасов шахтного поля, позволяющая минимизировать объемы капитальных вложений при строительстве рудника и величину эксплуатационных расходов в период его эксплуатации за счет максимального использования карьерного пространства для целей вскрытия, в том числе для выдачи руды на поверхность.

**Ключевые слова:** крутопадающее месторождение, малоценные руды, комбинированная разработка, схема вскрытия, шахтное поле, экономико-математическое моделирование, технико-экономические показатели.

DOI: 10.25635/2313-1586.2025.04.055

**Nikitin Igor V.**  
Candidate of Technical Sciences,  
Senior Researcher Laboratory  
of underground geotechnology,  
Institute of Mining Ural Branch of RAS,  
58 Mamina-Sibiryaka Str.,  
620075 Ekaterinburg;  
e-mail: [opening-kp@yandex.ru](mailto:opening-kp@yandex.ru)

**SEARCH AND EVALUATION OF WAYS  
TO INCREASE EFFICIENCY OF OPENING  
OF RESERVES OF MINE FIELD DURING  
THE COMBINED MINING  
OF LARGE STEEP DEPOSITS**

*Abstract:*

The depletion of the potential of open-pit geotechnology at the mining of large steep deposits of low-value ores, caused by the problem of expanding the contours of quarries on the surface, makes the task of technical and economic justification of the feasibility of switching to a combined method of mining at the final stage relevant. The relevance of the study is due to the need to increase the efficiency of opening of reserves of the mine field. Based on the analysis of global experience and trends in the development of opening schemes, a set of organizational and technical solutions has been proposed to improve the efficiency of opening the mine field. The main solutions include: dividing the mine field by height into opening stages, organizing a ventilation and assembly horizon with a group of short ventilation shafts in the quarry, and using a tunnel horizon to transport ore from the skip shaft to the quarry transfer point. For the conditions of combined development of the Bazhenovskoye chrysotile-asbestos deposit, an effective scheme for opening up the mine field reserves has been developed, which allows for minimizing the amount of capital investment during the construction of the mine and the amount of operating expenses during its operation, by maximizing the use of the mine space for opening purposes, including the extraction of ore to the surface.

**Key words:** steep deposit, low-value ores, combined mining, scheme of opening, mine field, economic and mathematical modeling, technical and economic indicators.

\* Исследования выполнены в рамках Гос. задания №075-00410-25-00. № гос. рег. 125070908257-0.

Тема 1 (2025-2027). Методология обоснования перспектив технологического развития комплексного освоения минерально-сырьевых ресурсов твердых полезных ископаемых России (FUWE-2025-0001).

### *Введение*

Разработка крупных крутопадающих месторождений малоценных руд (железородных, асбестовых, апатитовых и др.) в Российской Федерации осуществляется преимущественно открытым способом [1]. Глубина многих карьеров приближается или уже достигла 500 – 600 м. Довольно часто карьеры вследствие значительных их размеров в плане расположены в окружении огромных отвалов, масштабной промышленной и жилой застройки [2, 3].

Исчерпание потенциала открытой геотехнологии, вызванное проблемой расширения контуров карьеров по поверхности, актуализирует задачу технико-экономического обоснования целесообразности перехода на завершающем этапе на комбинированный способ разработки, предусматривающий ведение открытых (ОГР) и подземных горных работ (ПГР) в пределах месторождения по взаимосвязанным технологическим схемам [4].

Известно, что подземный способ разработки месторождения значительно более затратный, чем открытый [5]. В связи с этим основной проблемой при переходе от ОГР к ПГР является обеспечение экономической эффективности подземного рудника с учетом этапа строительства. В значительной степени эффективность ПГР определяют технические решения по вскрытию запасов шахтного поля. Традиционные способы вскрытия с поверхности не позволяют обеспечить значительного снижения затрат и сроков строительства рудника [6]. Максимальное использование карьерного пространства для целей вскрытия, в том числе для выдачи руды на поверхность, является одним из основных направлений повышения эффективности вскрытия при комбинированной разработке.

Таким образом, изыскание и оценка возможных путей повышения эффективности вскрытия запасов шахтного поля при комбинированной разработке крупных крутопадающих месторождений (на примере Баженовского месторождения хризотил-асбеста), является актуальной научно-технической задачей.

### *Методы исследования*

В работе использован комплексный метод исследований, включающий анализ и обобщение практики и теории вскрытия запасов шахтного поля при комбинированной разработке месторождений, конструирование, экономико-математическое моделирование и сравнительный анализ.

### *Результаты исследования*

Основными факторами, влияющими на выбор способа и схемы вскрытия запасов шахтного поля при комбинированной разработке Баженовского месторождения, являются крутое падение рудных тел (в среднем 80°), значительные размеры шахтного поля (длина – 2720 м, ширина – 1240 м), глубина разработки (до 700 м) и годовая производственная мощность шахты (от 2 до 5 млн т/год), наличие отвалов по всему восточному борту карьера.

Анализ мировой практики вскрытия запасов вне контура карьера [7–12] в условиях, близких к условиям Баженовского месторождения, показал, что вскрытие вертикальными стволами с земной поверхности доминирует над другими способами, при этом главные и вспомогательные стволы, как правило, располагаются в центральной части шахтного поля, вентиляционные – на флангах, и проходят сразу на всю глубину разведанных запасов.

Современные схемы вскрытия предусматривают:

- применение наклонных съездов для доставки самоходного оборудования (СО) в шахту и его перемещения между основными горизонтами. Преимуществом данной схемы является максимальная приспособленность данного типа выработки для спуска

СО собственным ходом, возможность ускорения вскрытия и подготовки запасов к выемке;

– сооружение концентрационных горизонтов для локомотивной откатки руды с оборудованием у главного ствола дробильно-загрузочного комплекса. Преимуществом данной схемы является повышение эффективности подземного транспорта и обеспечение стабильности качества руды за счет управления рудопотоками и объемом аккумулирующих емкостей;

– увеличение высоты этажа до 100 м и расстояния между доставочными откаточными ортами до 160 м в соответствии с мировыми тенденциями увеличения параметров вскрытия [6, 12] с целью сокращения объемов горнокапитальных работ (ГКР).

С учетом имеющегося опыта и тенденций развития схем вскрытия предложен комплекс организационно-технических решений, направленных на снижение капитальных и эксплуатационных затрат на процессы, связанные со вскрытием, а также сокращение сроков строительства шахты (табл. 1).

Таблица 1

**Пути повышения эффективности вскрытия при комбинированной разработке крупных крутопадающих месторождений**

Цель	Организационно-технические решения
Снижение капитальных затрат на ГКР	– использование карьерного пространства для заложения подземных вскрывающих выработок (наклонных съездов, штолен, вентиляционных восстающих); – уменьшение сечения вспомогательного (воздухоподающего) ствола за счет снижения количества воздуха, необходимого для проветривания шахты, путем использования СО на аккумуляторных батареях; – отказ от фланговых вентиляционных стволов за счет сооружения вентиляционно-сборочного горизонта с группой коротких вентиляционных восстающих в карьер
Сокращение сроков ввода в эксплуатацию	– разделение шахтного поля по высоте на ярусы или очереди вскрытия; – использование наклонных съездов для вскрытия и подготовки запасов основных горизонтов в период строительства стволов; – применение высокопроизводительных комплексов СО при проходке горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок
Уменьшение эксплуатационных затрат на подъем и транспортирование руды	– оптимизация длины шахтного поля и величины шага вскрытия; – организация концентрационных горизонтов для локомотивной откатки руды; – использование штольневых горизонтов для транспортирования руды от скипового ствола до перегрузочного пункта в карьере; – расположение устья штольни вблизи существующего перегрузочного пункта

Для условий комбинированной разработки Баженовского месторождения разработаны варианты вскрытия запасов шахтного поля, отличающиеся по основному признаку – по степени использования карьера для целей вскрытия, по вспомогательным признакам – по числу этапов (очереди) вскрытия, схеме вентиляции и схеме транспорта руды:

1) с частичным использованием карьера для вспомогательных целей – одноэтапное вскрытие четырьмя вертикальными (скиповым, клетевым и фланговыми вентиляционными) стволами с поверхности с организацией одного концентрационного горизонта;

2) с полным использованием карьера, в том числе для выдачи руды на поверхность – многоэтапное вскрытие двумя вертикальными (скиповым и клетевым) стволами с поверхности и двумя рудовыдачными штольнями из карьера с организацией вентиляционно-сборочного и двух концентрационных горизонтов.

В обоих вариантах основные вскрывающие выработки располагаются за зоной сдвижения горных пород. На проходческих и очистных работах применяются современные комплексы СО преимущественно на аккумуляторных батареях, что позволяет сократить потребное количество воздуха для проветривания шахты в 2–3 раза [13].

*Схема одноэтапного вскрытия четырьмя вертикальными стволами с поверхности с организацией одного концентрационного горизонта* (рис. 1) предусматривает строительство скипового ствола с поверхности на глубину 770 м для выдачи руды и загрязненного воздуха из шахты, клетового ствола с поверхности на глубину 740 м для спуска – подъема людей, подачи свежего воздуха в шахту и выдачи породы из шахты, двух вентиляционных стволов с поверхности на глубину 720 м для выдачи загрязненного воздуха из шахты, двух наклонных съездов из карьера под углом  $10^\circ$  для спуска СО в шахту и выдачи породы из шахты, квершлагов и вентиляционных штреков на вентиляционном горизонте, квершлагов, доставочных (откаточных) штреков и ортов на эксплуатационных и концентрационных горизонтах, выработок околоствольных дворов и служебных камер (комплекс дробления и загрузки скипов, комплекс главного водоотлива, камеры обслуживания СО и др.).

Способ проветривания – нагнетательный. Схема проветривания: клетевой ствол – эксплуатационный горизонт – добычной блок – блоковый восстающий – вентиляционный (вышележащий) горизонт – вентиляционный ствол – поверхность.

Схема транспорта руды: блоковый рудоспуск – концентрационный горизонт (электровозный транспорт) – скиповой ствол – поверхность (автомобильный транспорт) – рудный склад обогатительной фабрики (ОФ). Высота подъема составляет 770 м. Средняя длина транспортирования по концентрационному горизонту – 2,5 км, по поверхности – 14 км.

*Схема многоэтапного вскрытия двумя вертикальными стволами с поверхности и рудовыдачными штольнями из карьера с организацией вентиляционно-сборочного и двух концентрационных горизонтов* (рис. 2) предусматривает на первом этапе проходку скипового ствола с поверхности на глубину 570 м для выдачи руды и загрязненного воздуха из шахты, клетового ствола с поверхности на глубину 540 м для спуска – подъема людей, подачи свежего воздуха в шахту и выдачи породы из шахты, двух штолен из карьера для транспортирования руды от скипового ствола до перегрузочного пункта в карьере, двух наклонных съездов из карьера под углом  $10^\circ$  для спуска СО в шахту и выдачи породы из шахты, вентиляционного штрека и шурфов на вентиляционно-сборочном горизонте для сбора и выдачи загрязненного воздуха из шахты, квершлагов, доставочных (откаточных) штреков и ортов на эксплуатационных и концентрационных горизонтах, лифтовых восстающих на флангах шахтного поля, выработок околоствольных дворов и служебных камер. На втором этапе производится углубка скипового и клетового стволов на глубину 200 м, проходка наклонного съезда, квершлагов, доставочных (откаточных) штреков и ортов на эксплуатационных и концентрационных горизонтах, лифтовых восстающих, выработок околоствольных дворов и служебных камер.

Способ проветривания – нагнетательный. Схема проветривания: клетевой ствол – эксплуатационный горизонт – добычной блок – блоковый восстающий – вышележащий горизонт – лифтовый восстающий – вентиляционно-сборочный горизонт – вентиляционный шурф – карьер.

Схема транспорта руды: блоковый рудоспуск – концентрационный горизонт (электровозный транспорт) – скиповой ствол – транспортный горизонт (электровозный транспорт) – перегрузочный пункт – карьер (локомотивный транспорт) – рудный склад ОФ. Средняя высота подъема составляет 550 м. Средняя длина транспортирования по концентрационному горизонту – 2,5 км, по транспортному горизонту – 1,2 км, по карьере – 6,5 км.

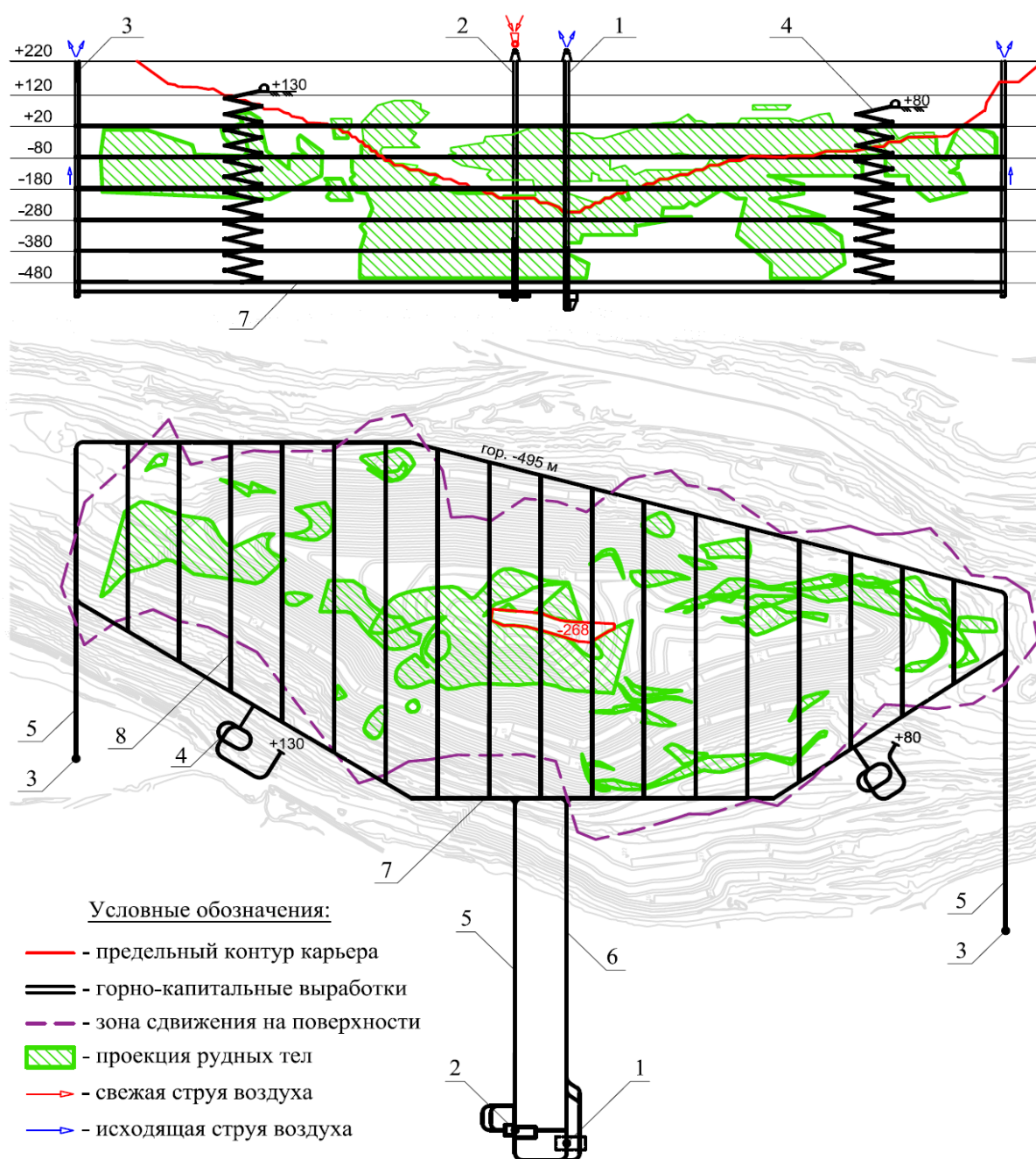


Рис. 1. Схема одноэтапного вскрытия четырьмя вертикальными стволами с поверхности с организацией одного концентрационного горизонта:

1 – скиповый ствол; 2 – клетевой ствол; 3 – вентиляционный ствол; 4 – наклонный съезд;  
5 – вентиляционный квершлаг; 6 – откаточный квершлаг; 7 – откаточный штрек;  
8 – откаточный орт



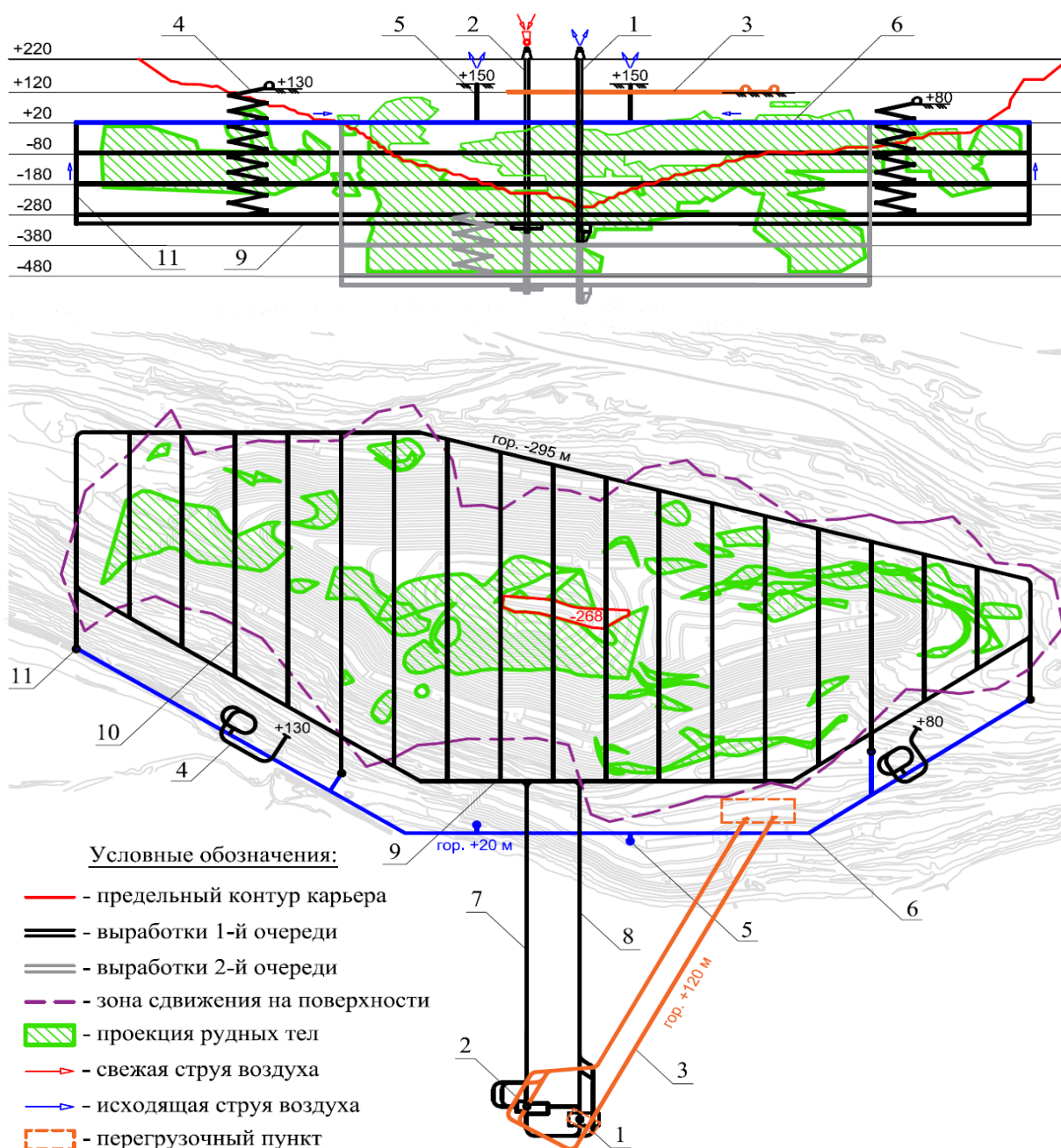


Рис. 2. Схема многоэтапного вскрытия двумя вертикальными стволами с поверхности и двумя рудовыдачными штольнями из карьера

с организацией вентиляционно-сборочного и двух концентрационных горизонтов:

- 1 – скиповый ствол; 2 – клетевой ствол; 3 – транспортная штольня; 4 – наклонный съезд;  
 5 – вентиляционный шурф; 6 – вентиляционный штрек; 7 – вентиляционный квершлаг;  
 8 – откаточный квершлаг; 9 – откаточный штрек; 10 – откаточный орт;  
 11 – лифтовый восстающий

На основе экономико-математического моделирования (ЭММ) с использованием авторской методики и расчетной программы [12, 14 –15] выполнена сравнительная оценка схем вскрытия по основным технико-экономическим показателям: срок строительства шахты, капитальные затраты на ГКР, эксплуатационные затраты на подъем и транспортирование руды в зависимости от производственной мощности шахты, изменяющейся от 2 до 5 млн т/год. Результаты ЭММ приведены на рис. 3.

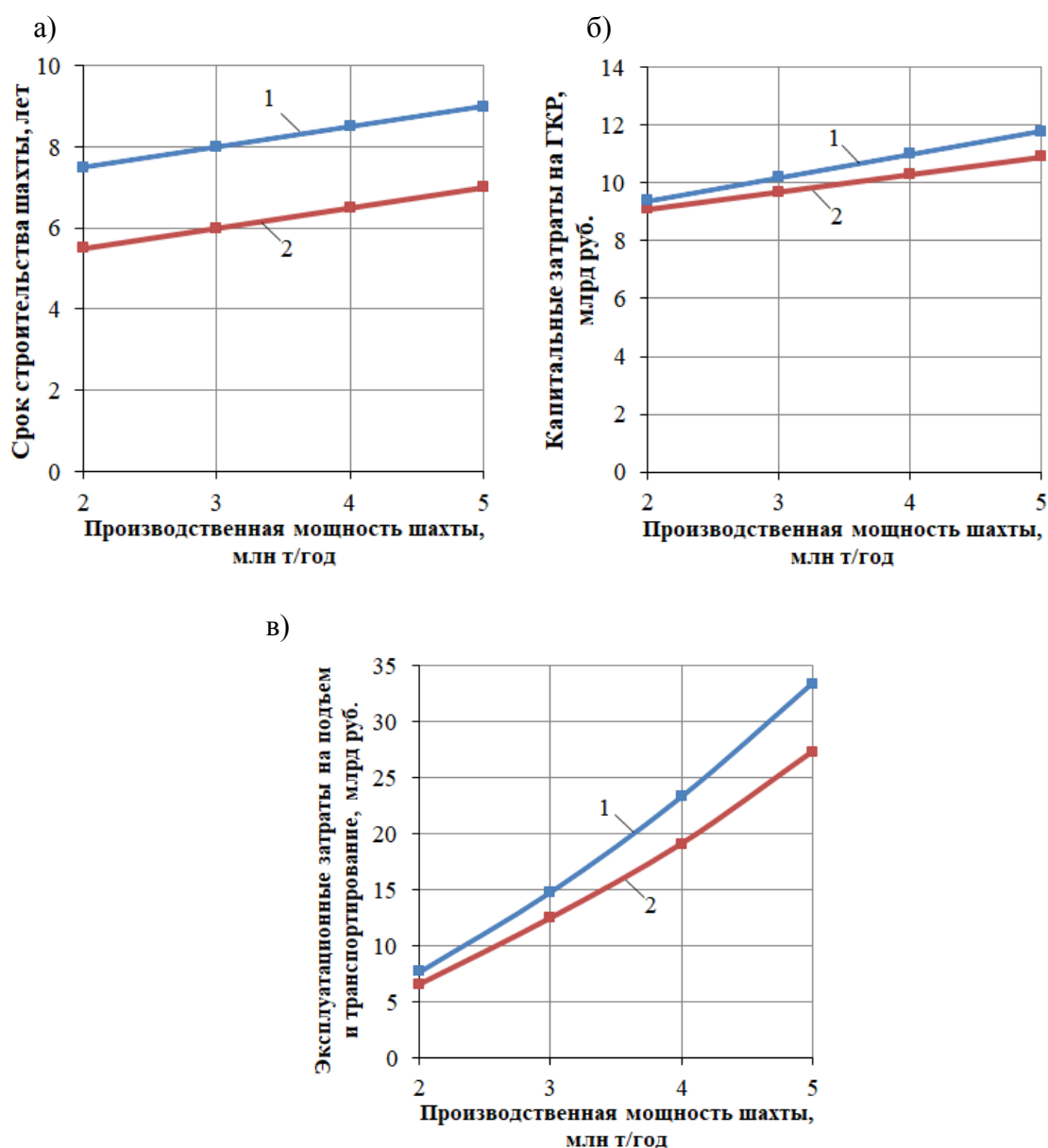


Рис. 3. Зависимости срока строительства шахты (а), капитальных затрат на ГКР (б), эксплуатационных затрат на подъем и транспортирование руды (в) от величины производственной мощности шахты:

- 1 – схема одноэтапного вскрытия вертикальными стволами с поверхности;
- 2 – схема многоэтапного вскрытия вертикальными стволами с поверхности и штольнями из карьера

В результате ЭММ установлено, что применение схемы многоэтапного вскрытия вертикальными стволами с поверхности и штольнями из карьера по сравнению со схемой одноэтапного вскрытия вертикальными стволами с поверхности обеспечивает:

- сокращение сроков строительства шахты на 28,6–36,4 % за счет отказа от фланговых вентиляционных стволов и квершлагов, уменьшения глубины скипового и клетового стволов на 200 м;
- снижение капитальных затрат на ГКР на 3,5–8,3 % за счет сокращения объемов ГКР на 27–81 тыс. м<sup>3</sup> вследствие замены фланговых вентиляционных стволов и квершлагов на выработки меньшего сечения и меньшей длины (вентиляционные шурфы, лифтовые восстающие, вентиляционные сбойки);

– снижение эксплуатационных затрат на подъем и транспортирование руды на 16,7–22,3 % за счет уменьшения средней высоты подъема на 220 м и сокращения среднего расстояния транспортирования до ОФ на 7,5 км.

### Заключение

На основе анализа мирового опыта и тенденций развития схем вскрытия предложены комплекс организационно-технических решений, направленных на повышение эффективности вскрытия при комбинированной разработке крупных крутопадающих месторождений, основными из которых являются разделение шахтного поля по высоте на очереди вскрытия, организация вентиляционно-сборочного горизонта с группой коротких вентиляционных восстающих в карьер, использование штольневых горизонтов для транспортирования руды от скипового ствола до перегрузочного пункта в карьере.

Для условий комбинированной разработки Баженовского месторождения хризотил-асбеста обоснована эффективная схема вскрытия запасов шахтного поля, позволяющая минимизировать объемы капитальных вложений при строительстве рудника и величину эксплуатационных расходов в период его эксплуатации за счет максимального использования карьерного пространства для целей вскрытия, в том числе для выдачи руды на поверхность.

### Список литературы

1. Яковлев В.Л., Корнилов С. В., Соколов И.В., 2015. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья*; под ред. чл.-кор. РАН В.Л. Яковлева. Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 360 с.
2. Калмыков В.Н., Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Гоготин А.А., Петрова О.В., Томилина Н.Г., 2013. Обоснование рациональных вариантов перехода с открытого на подземный способ разработки месторождения «Малый Куйбас». *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 132-139.
3. Леонтьев А.А., Белгородцев О.В., Громов Е.В., Казачков С.В., 2013. Вскрытие глубоких горизонтов карьера «Железный» Ковдорского ГОКа подземными выработками. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 4, С. 212-220.
4. Щелканов В.А., 1974. *Комбинированная разработка рудных месторождений*. Москва: Недра, 231 с.
5. Бурмистров К.В., Овсянников М.П., 2018. Обоснование параметров этапа открытых горных работ в переходные периоды разработки крутопадающих месторождений. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, № 6, С. 20-28.
6. Соколов И.В., Смирнов А.А., Антипин Ю.Г., Никитин И.В., Барановский К.В., 2014. Об эффективности подземной разработки Тарыннахского и Горкитского железорудных месторождений. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*, № 3 (47), С. 5-11.
7. Каплунов Д.Р., Рыльникова М.В., Калмыков В.Н., 2003. *Комбинированная геотехнология*. Москва: Руда и металлы, 558 с.
8. Каплунов Д.Р., Юков В.А., 2007. *Геотехнология перехода от открытых к подземным горным работам*. Москва: Горная книга, 267 с.
9. Казикаев Д.М. 2008. *Комбинированная разработка рудных месторождений*. Москва: Горная книга, 361 с.
10. Демидов Ю.В., Звонарь А.Ю., 2009. Методические принципы проектирования схем вскрытия при комбинированной технологии разработки рудных месторождений. *Горный журнал*, № 6, С. 57-59.
11. Ивашов Н.А., 2007. Обоснование способов вскрытия запасов за предельным контуром карьеров. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова*, № 1 (17), С. 9-13.



12. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Никитин И. В., 2021. *Методология выбора подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений*; под общ. ред. д-ра техн. наук И. В. Соколова. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 340 с.

13. Ильинов Н.Д., Мажитов А.М., Аллабердин А.Б., Важаев К.В., 2021. Оптимизация схемы проветривания при увеличении производственной мощности подземного рудника. *Горная промышленность*, № 6, С. 89-93. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-89-93.

14. Никитин И.В., 2017. Оптимизация параметров вскрытия при подземной разработке подкарьерных запасов кимберлитового месторождения. *Проблемы недропользования*, № 1 (12), С. 21-28.

15. Никитин И.В., 2024. Исследование схем вскрытия подкарьерных запасов кимберлитовых месторождений. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*, № 2, С. 262-274.

### References

1. Yakovlev V.L., Kornilkov S. V., Sokolov I.V., 2015. Innovatsionnyi bazis strategii kompleksnogo osvoeniya resursov mineral'nogo syr'ya [Innovative basis for the strategy of integrated development of mineral resources]; pod red. chl.-kor. RAN V.L. Yakovleva. Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 360 p.

2. Kalmykov V.N., Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Gogotin A.A., Petrova O.V., Tomilina N.G., 2013. Obosnovanie ratsional'nykh variantov perekhoda s otkrytogo na podzemnyi sposob razrabotki mestorozhdeniya «Malyi Kuibas» [Substantiation of rational variations of the transition from the open to the underground mining method of the Maly Kuibas field]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 4, P. 132-139.

3. Leont'ev A.A., Belogorodtsev O.V., Gromov E.V., Kazachkov S.V., 2013. Vskrytie glubokikh gorizontov kar'era «Zheleznyi» Kovdorskogo GOKa podzemnymi vyrabotkami [Opening of the deep horizons of the Zhelezny quarry of Kovdorsky GOK by underground workings]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 4, P. 212-220.

4. Shchelkanov V.A., 1974. *Kombinirovannaya razrabotka rudnykh mestorozhdenii* [Combined mining of ore deposits]. Moscow: Nedra, 231 p.

5. Burmistrov K.V., Ovsyannikov M.P., 2018. Obosnovanie parametrov etapa otkrytykh gornykh rabot v perekhodnye periody razrabotki krutopadayushchikh mestorozhdenii [Substantiation of parameters of the stage of open-pit mining in the transitional periods of development of declining deposits]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*, № 6, P. 20-28.

6. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., Baranovskii K.V., 2014. Ob effektivnosti podzemnoi razrabotki Tarynnakhskogo i Gorkitskogo zhelezorudnykh mestorozhdenii [On the effectiveness of underground mining of Tarynnakhsky and Gorkitsky iron ore deposits]. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G. I. Nosova*, № 3 (47), P. 5-11.

7. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V., Kalmykov V.N., 2003. *Kombinirovannaya geotekhnologiya* [Combined Geotechnology], Moscow: Ruda i metally, 558 p.

8. Kaplunov D.R., Yukov V.A., 2007. *Geotekhnologiya perekhoda ot otkrytykh k podzemnym gornym rabotam* [Geotechnology of the transition from indoor to underground mining]. Moscow: Gornaya kniga, 267 p.

9. Kazikaev D.M. 2008. Kombinirovannaya razrabotka rudnykh mestorozhdenii [Combined mining of ore deposits]. Moscow: Gornaya kniga, 361 p.
10. Demidov Yu.V., Zvonar' A.Yu., 2009. Metodicheskie printsipy proektirovaniya skhem vskrytiya pri kombinirovannoi tekhnologii razrabotki rudnykh mestorozhdenii [Methodological principles of designing opening schemes for combined technology of ore deposits development]. Gornyi zhurnal, № 6, P. 57-59.
11. Ivashov N.A., 2007. Obosnovanie sposobov vskrytiya zapasov za predel'nym konturom kar'erov [Justification of the methods of opening reserves beyond the border contour of quarries]. Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova, № 1 (17), P. 9-13.
12. Sokolov I. V., Antipin Yu. G., Nikitin I. V., 2021. Metodologiya vybora podzemnoi geotekhnologii pri kombinirovannoi razrabotke rudnykh mestorozhdenii [Methodology for the selection of underground geotechnology in the combined development of ore deposits]; pod obshch. red. d-ra tekhn. nauk I. V. Sokolova. Ekaterinburg: Izd-vo Ural'skogo universiteta, 340 p.
13. Il'inov N.D., Mazhitov A.M., Allaberdin A.B., Vazhdaev K.V., 2021. Optimizatsiya skhemy provetrivaniya pri uvelichenii proizvodstvennoi moshchnosti podzemnogo rudnika [Optimization of the ventilation scheme while increasing the production capacity of the underground mine]. Gornaya promyshlennost', № 6, P. 89-93. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-6-89-93.
14. Nikitin I.V., 2017. Optimizatsiya parametrov vskrytiya pri podzemnoi razrabotke podkar'ernykh zapasov kimberlitovogo mestorozhdeniya [Optimization of opening parameters during underground mining of sub-quarry reserves of kimberlite deposits]. Problemy nedropol'zovaniya, № 1 (12), P. 21-28.
15. Nikitin I.V., 2024. Issledovanie skhem vskrytiya podkar'ernykh zapasov kimberlitovykh mestorozhdenii [Investigation of schemes for opening sub-quarry reserves of kimberlite deposits]. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle, № 2, P. 262-274.