

И.В. Соколов, И.В. Никитин

ОБЛАСТИ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СПОСОБОВ И СХЕМ ВСКРЫТИЯ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*

Выявлены особенности комбинированной разработки кимберлитовых месторождений: наличие глубоких карьеров (до 640 м), значительная глубина распространения запасов под его дном карьера (до 900 м), сложные природно-климатические, горно-геологические и гидрогеологические условия, которые необходимо учитывать при разработке методики оценки и выбора способа и схемы вскрытия. Определены и сгруппированы основные параметры и факторы, влияющие на эффективность вскрытия при комбинированной разработке. Сконструировано шесть вариантов вскрытия подкарьерных запасов, отличающихся порядком вскрытия, типом и местом заложения основных вскрывающих выработок, и определены области их эффективного применения по критерию суммарных дисконтированных капитальных затрат на строительство подземного рудника и эксплуатационных затрат на транспортирование и подъем руды на поверхность, изменяющегося в зависимости от диаметра трубки, глубины ее залегания и глубины карьера.

Ключевые слова: кимберлитовое месторождение, комбинированная разработка, способ вскрытия, схема вскрытия, параметры вскрытия, влияющие факторы, экономико-математическое моделирование, дисконтированные затраты.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-45-53

Россия занимает первое место в мире по объему разведанных запасов кимберлита, основная часть которых сосредоточена в коренных месторождениях, расположенных в алмазоносной провинции Республики Саха (Якутия) [1]. Разработка коренных кимберлитовых месторождений осуществляется преимущественно комбинированным способом.

В настоящее время в связи с исчерпанием потенциала открытой геотехнологии актуален переход на подземный способ разработки кимберлитовых тру-

бок «Юбилейная», «Нюрбинская и «Ботубинская». Для эффективного и безопасного освоения данных месторождений подземной геотехнологией необходимо в ближайшее время решить первую и очень важную научно-техническую задачу — изыскание перспективных способов и схем вскрытия подкарьерных запасов, обеспечивающих снижение капитальных и эксплуатационных затрат и сокращение срока ввода подземного рудника в эксплуатацию, а также обоснование области их эффективного применения.

* Исследования выполнены при поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований УрО РАН «Обоснование методов и этапов адаптации горно-технологических систем к изменяющимся условиям разработки сложноструктурных глубокозалегających месторождений» (Проект 18-5-5-10).

Особенностями открыто-подземной разработки кимберлитовых месторождений являются: наличие глубоких карьеров (до 640 м) с крутыми углами откосов бортов, значительная глубина распространения запасов под дном карьера (до 900 м), сложные природно-климатические (отрицательные температуры, многолетняя мерзлота), горно-геологические (криогенность и геотермическое состояние горного массива, присутствие в нем карстовых полостей и пустот, низкая прочность кимберлитов и вмещающих пород в растепленном состоянии, большие газовыделения и нефтепроявления) и гидрогеологические (наличие мощных водоносных комплексов, значительные водопритоки с высокой минерализацией) условия [2–8]. Современная научно-методическая база проектирования и существующие методики выбора эффективных способов и схем вскрытия не в полной мере учитывают данные особенности.

В основу исследований положен системный подход, рассматривающий объект как целостное множество элементов в совокупности отношений и связей между собой и с внешней средой [9]. В соответствии с положениями системного подхода дано определение горнотехнической системы вскрытия при комбинированной разработке месторождений (ГТСВ) как совокупности взаимосвязанных элементов, функционирующих в условиях наличия карьера и обеспечивающих доступ к подкарьерным запасам в целях реализации главной (выдача рудной массы на поверхность) и вспомогательных функций (вентиляция рудника, водоснабжение, водоотлив, спуск и подъем людей, доставка материалов, оборудования и др.).

В составе ГТСВ выделено три наиболее значимых элемента:

- горная конструкция, представляющая собой участок недр с размещенными

ми в нем вскрывающими горными выработками;

- технология проведения, крепления и поддержания в устойчивом состоянии вскрывающих горных выработок;

- технологический процесс выдачи (подъем и транспортирование) рудной массы на поверхность при эксплуатации месторождения.

Элементы ГТСВ характеризуются 28 основными параметрами:

- Конструктивные: размеры шахтного поля, число этапов (очередей) и величина шага вскрытия, высота этажа, число этажей в шаге вскрытия, высота подъема, длина транспортирования руды, наличие концентрационных горизонтов, объем вскрываемых запасов.

- Технологические: протяженность (длина), форма и площадь поперечного сечения, угол наклона, глубина заложения и скорость проходки вскрывающих выработок, тип и толщина крепи.

- Функциональные: тип, размеры и производительность проходческого, подъемного оборудования и транспортных средств.

Параметры зависят от 42 основных факторов, выражающих всю совокупность условий функционирования ГТСВ:

Природные: природно-климатические (рельеф и климат местности, мощность криолитозоны), гидрогеологические (мощность водоносных комплексов, водопритоки в шахту), горно-геологические (форма, длина по простиранию, мощность, угол падения залежи, объем и глубина распространения запасов под дном карьера), физико-механические свойства (устойчивость, крепость, трещиноватость) и напряженно-деформированное состояние массива горных пород в условиях наличия карьера, объем газо- и нефтевыделения.

- Горнотехнические: схема комбинированной разработки месторождения, производственная мощность подземного

Основные параметры и факторы, влияющие на эффективность вскрытия при комбинированной разработке

Показатели эффективности вскрытия	Параметры, влияющие на эффективность вскрытия		Факторы, влияющие на параметры вскрытия		Экономические	
	Конструктивные	Технологические	Функциональные	Природные		Горнотехнические
Капитальные затраты на вскрытие	Размеры шахтного поля, величина шага вскрытия, высота этажа, число этажей в шаге вскрытия	Длина, форма и площадь поперечного сечения, угол наклона скрывающих выработок, тип и толщина крепи	Тип и размеры проходческого, подземного оборудования и транспортных средств	Рельеф местности, мощность водоносных горизонтов, форма, длина простирания, мощность, угол падения и глубина залегания рудных тел, крепость, устойчивость, трещиноватость, напряженно-деформированное состояние горных пород	Производственная мощность подземного рудника, глубина карьера, генеральный угол наклона бортов карьера	Стоимость проходческого, подземного оборудования и транспортных средств, себестоимость проходки и крепления скрывающих выработок
Эксплуатационные затраты на выдачу рудной массы на поверхность	Высота подъема, длина транспортирования руды, наличие концентрированных горизонтов	Место и глубина заложения скрывающих выработок	Производительность подземного оборудования и транспортных средств	Объем запасов под дном карьера, мощность и глубина залегания рудных тел, плотность руды в массиве	Схема комбинированной разработки, схема транспортирования руды, глубина карьера, система подземной разработки, потери руды при добыче и разубоживание	Стоимость материальных, энергетических и трудовых ресурсов, потребляемых при выдаче руды на поверхность
Срок ввода подземного рудника в эксплуатацию	Число этапов вскрытия, объем скрываемых запасов	Объем и скорость проходки скрывающих выработок	Производительность проходческого оборудования	Температура воздуха, мощность криолито-зоны, мощность и глубина залегания рудных тел, объем водопритоков в шахту, газо- и нефтевыделение	Порядок отработки этапов во времени и пространстве, глубина карьера	Ценность и содержание полезного компонента в руде

рудника, порядок отработки этажей во времени и пространстве, глубина карьера, генеральный угол наклона бортов карьера, схема транспортирования руды, система подземной разработки, потери руды при добыче и разубоживание.

- Экономические: ценность и содержание полезного компонента в руде, стоимость проходческого, подъемного оборудования и транспортных средств, стоимость материальных, энергетических и трудовых ресурсов, потребляемых на процессах, связанных со вскрытием.

Количественная оценка ГТЦВ осуществляется при помощи нескольких технико-экономических показателей или интегрального критерия.

Таким образом, что эффективность ГТЦВ определяется совокупностью внутренних свойств (конструктивные, технологические и функциональные параметры) и внешних условий (природные, горнотехнические и экономические факторы) (таблица).

Системный анализ показал, что некоторые фундаментальные факторы — мощность (диаметр) трубки (d), глубина залегания трубки (H) и глубина карьера (H_k) оказывают влияние на все виды параметров и на каждый из предложенных показателей. Поэтому, считаем, что изучение ГТЦВ следует осуществлять путём установления зависимостей, проявляющихся в результате влияния указанных факторов. Универсальным методом исследования сложных систем, отличающихся невозможностью лабораторного или промышленного эксперимента, считается экономико-математическое моделирование (ЭММ) [10—12].

Вскрытие месторождений характеризуется способом и схемой [13]. В понятие способа вскрытия входят тип и количество главных (рудовыдачных) вскрывающих горных выработок. Под схемой вскрытия понимается пространственное расположение различных по назначе-

нию вскрывающих горных выработок и последовательность их проведения. Сочетание способа и схемы представляет собой вариант вскрытия.

Сконструировано шесть перспективных вариантов вскрытия подкарьерных запасов для условий последовательной схемы ($H_k = 400$ м) комбинированной разработки мощного ($d = 220$ м) глубокозалегающего ($H = 900$ м) кимберлитового месторождения (рис. 1), отличающихся порядком вскрытия, типом и местом заложения основных вскрывающих выработок, обеспечивающих сокращение срока ввода подземного рудника в эксплуатацию за счет заложения вскрывающих выработок в карьере.

При конструировании руководствовались принципами комплексного освоения недр и требованиями безопасности. Во всех вариантах приняты нисходящий порядок отработки этажей, камерная система разработки с закладкой выработанного пространства (потери руды при добыче 4%, разубоживание — 12%), нагнетательный способ и фланговая схема проветривания рудника, кольцевая схема подготовки добычных блоков, буровзрывной способ проходки выработок: вертикальные стволы — при помощи проходческого копра «Север-2», горизонтальные и наклонные выработки — при помощи комплекса самоходного оборудования (СО). Конструктивные параметры вскрытия приняты в соответствии с горнотехническими условиями алмазодобывающих рудников: высота этажа равна 100 м, число этажей в шаге вскрытия изменяется от 1 до 5.

Вскрытие подкарьерных запасов в вариантах 1—3 осуществляется сразу на полную глубину залегания трубки, в вариантах 4—6 — очередями на глубину шага вскрытия. Варианты 1 и 4 предусматривают строительство двух вертикальных скипового и клетового стволов с поверхности, наклонного съезда из карье-

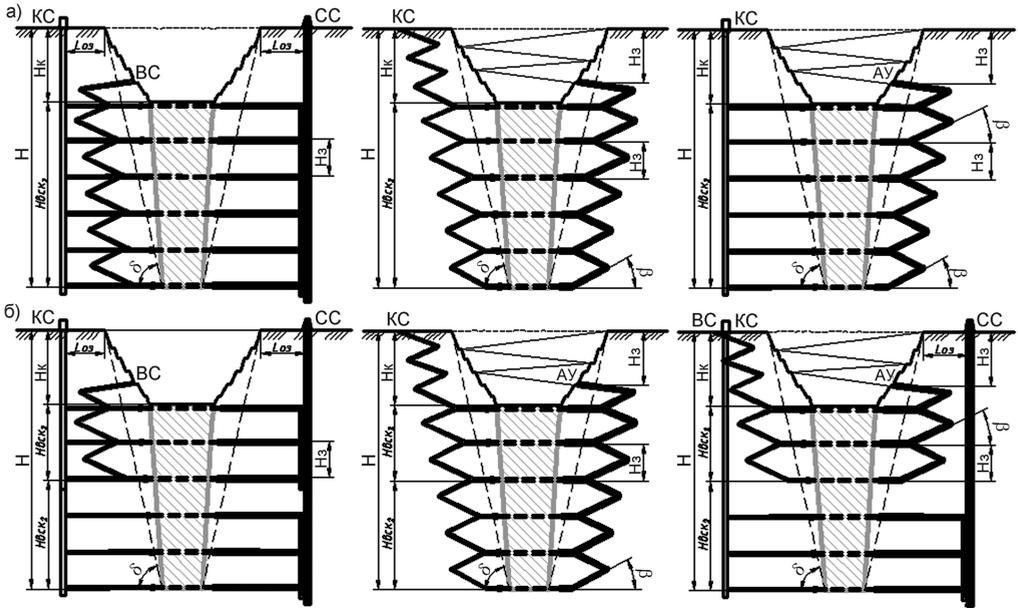


Рис. 1. Конструктивные схемы по вариантам 1–3 (а) и 4–6 (б)

ра под углом 12° , квершлагов и этажных штреков, капитального рудоспуска в районе скипового ствола, сооружение башенного копра на промплощадке рудника. Подъем добытой руды на поверхность осуществляется по скиповому стволу, внутришахтный транспорт по эксплуатационным горизонтам до капитального рудоспуска — подземными автосамосвалами. Наклонный съезд из карьера используется для ускорения строительства горизонтов рудника и спуска СО в шахту. В варианте 3 на втором этапе производится углубка вертикальных стволов, способ и схема подъема и транспорта руды остается без изменений.

Варианты 2 и 5 предусматривают строительство автотранспортного уклона из карьера под углом 8° , вспомогательного наклонного съезда с поверхности под углом 12° , заездов на этажи и этажных штреков. Транспортирование добытой руды по эксплуатационным горизонтам и автотранспортному уклону в карьер производится подземными автосамосвалами, на поверхность — по карьерным

съездам карьерными автосамосвалами. Перегрузочный пункт оборудуется на нижнем уступе карьера. На перегрузке руды применяется экскаватор. В варианте 4 на втором этапе основные вскрывающие выработки углубляются, способ и схема транспорта руды остается без изменений.

Вариант 3 предусматривает строительство автотранспортного уклона из карьера под углом 8° и клетового ствола с поверхности, квершлагов и этажных штреков. Способ и схема транспорта руды аналогичны варианту 2.

Вариант 6 предусматривает строительство автотранспортного уклона из карьера под углом 8° , вспомогательного наклонного съезда с поверхности под углом 12° , заездов на этажи и этажных штреков на первом этапе. Способ и схема транспорта руды аналогичны варианту 5. На втором этапе осуществляется строительство двух вертикальных скипового и клетового стволов с поверхности, квершлагов и этажных штреков, капитального рудоспуска в районе ски-

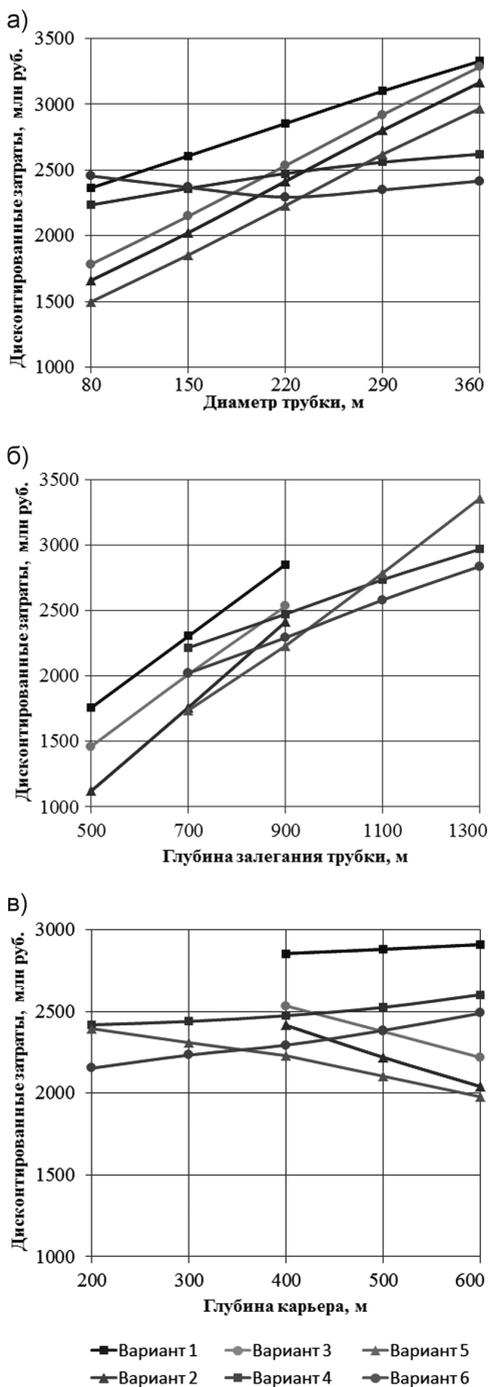


Рис. 2. Зависимости суммарных дисконтированных затрат от диаметра трубки (а) глубины ее залегания (б) и глубины карьера (в)

пового ствола, сооружается башенный копер на промплощадке рудника. Способ и схема транспорта руды аналогичны варианту 4.

На основе ЭММ установлены области эффективного применения вариантов 1–6 по критерию минимума суммарных дисконтированных капитальных затрат на строительство подземного рудника и эксплуатационных затрат на транспортирование и подъем руды на поверхность [14, 15] в зависимости от диаметра трубки, глубины ее залегания и глубины карьера, изменяемых в диапазоне $d = 80 \div 360$ м с шагом 70 м, $H = 500 \div 1300$ м с шагом 200 м и $H_k = 200 \div 600$ м с шагом 100 м (при средних $d = 220$ м, $H = 900$ м и $H_k = 400$ м, соответственно) (рис. 2). Пределы изменения значений влияющих факторов соответствуют реальным горно-геологическим и горнотехническим условиям отработки кимберлитовых месторождений Западной Якутии.

В результате ЭММ установлено:

- с увеличением диаметра трубки $d = 80 \div 360$ м при фиксированных $H = 900$ м и $H_k = 400$ м по вариантам 1–5 дисконтированные затраты повышаются от 1,15 до 2 раз, что объясняется увеличением объема вскрываемых запасов, а, следовательно, годовой производительности и площадь поперечного сечения вскрывающих выработок; по варианту 6 наблюдается некоторый оптимум при $d = 220$ м. При $d = 80 \div 230$ м оптимальным является вариант 5, а при $d = 230 \div 360$ м – вариант 6;

- с увеличением глубины залегания трубки $H = 500 \div 1300$ м при фиксированных $d = 220$ м и $H_k = 400$ м наибольшая интенсивность роста (до 2,5 раз) дисконтированных затрат характерна для вариантов 2 и 5, что предопределяет нецелесообразность применения автотранспортных уклонов на больших глубинах. При $H = 500 \div 700$ м оптимальным яв-

ляется вариант 2, при $H = 700 \div 940$ м — вариант 5, а при $H = 940 \div 1300$ м — вариант 6;

• с увеличением глубины карьера $H_k = 200 \div 600$ м при фиксированных $d = 220$ м и $H = 900$ м по вариантам 2, 3, 5 дисконтированные затраты снижаются в 1,1–1,3 раза, что объясняется умень-

шением количества вскрывающих горизонтов и, соответственно, суммарной длины капитальных квершлагов и штреков, суммарной длины транспортирования руды; по вариантам 1, 4, 6 — увеличение до 1,2 раза. При $H_k = 200 \div 350$ м оптимальным является вариант 6, а при $H_k = 350 \div 600$ м — вариант 5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клишин В. И., Филатов А. П. Подземная разработка алмазоносных месторождений Якутии. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. — 337 с.

2. Пучков Л. А., Кузьмин Е. В., Казикаев Д. М. и др. Проблемы перехода на подземную разработку алмазоносных месторождений Якутии // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 1999. — № 5. — С. 138–140.

3. Рыльникова М. В., Айнбиндер И. И., Крамсков Н. П., Письменный А. В. Решение геотехнологических задач на отдельных этапах освоения кимберлитовых месторождений Якутии // Горный журнал. — 2011. — № 1. — С. 55–58.

4. Замесов Н. Ф., Айнбиндер И. И., Звеков В. А. и др. Актуальные проблемы геотехнологий подземной разработки рудных месторождений в сложных горнотехнических условиях и пути их решения // Горный журнал. — 2005. — № 4. — С. 36–39.

5. Коваленко А. А., Тишков М. В., Неверов С. А. и др. Технология отработки подкарьерных запасов полезных ископаемых в сложных горно-геологических условиях // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2016. — Т. 1. — № 3. — С. 305–311.

6. Литвиненко В. С., Богуславский Э. И., Андреев М. Н. Технология и организация горных работ при выемке подкарьерных запасов кимберлитовых трубок Якутии в сложных гидрогеологических условиях // Записки Горного института. — 2011. — Т. 194. — С. 79–83.

7. Письменный А. В., Дроздов А. В., Крамсков Н. П. Гидрогеоэкологические и газовые проблемы разработки месторождений алмазов Западной Якутии // Горный журнал. — 2011. — № 1. — С. 67–70.

8. Vokhmin S. A., Trebush Yu. P., Kurchin G. S., Mayorov E. S., Zajtseva K. V. Peculiarities in setting norms of extraction in underground mining of diamond ore // Universal Journal of Engineering Science. 2014. Vol. 2. Pp. 39–42. DOI: 10.13189/ujes.2014.020201.

9. Яковлев В. Л. О развитии методологических подходов к исследованию проблем освоения недр // Проблемы недропользования. — 2015. — № 2. — С. 5–9. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.02.005.

10. Соколов И. В., Смирнов А. А., Антипин Ю. Г., Никитин И. В., Барановский К. В. Выбор варианта вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождений на основе экономико-математического моделирования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2013. — № 9. — С. 357–362.

11. Ordin A. A., Klislin V. I., Goncharov V. M. Computer and information modeling of the transition process from opened to underground mining / Proceedings: International Conference on Applications of Computer and Information Sciences to Nature Research, ACISNR 2010. Fredonia, NY, 2010. P. 86–88. DOI: 10.1145/1868013.1868036.

12. Siftmfeker C., Lienndorf J., Oliver-Xfarkus Lalistrater O.-X. Optimizing of long-term mine planning in large lignite deposits / Mine Planning and Equipment Selection: Proceedings of the 22nd MPES Conference, Dresden, Germany, 14th–19th October 2013. — Switzerland: Springer International Publishing, 2014. Pp. 113–125.

13. Соколов И. В., Антипин Ю. Г. Систематизация и экономико-математическое моделирование вариантов вскрытия подземных запасов при комбинированной разработке месторождений // Горный журнал. — 2012. — № 1. — С. 67–71.

14. Соколов И. В., Антипин Ю. Г., Никитин И. В. Моделирование и оптимизация способа и схемы вскрытия подкарьерных запасов крутопадающих рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 6. — С. 190–196.

15. Никитин И. В. Методика и алгоритм расчета для экономико-математического моделирования вариантов вскрытия подкарьерных запасов / Проблемы недропользования: материалы VI Всероссийской молодежной научно-практической конференции, 8–10 февраля 2012 г. ИГД УрО РАН. — Екатеринбург: УрО РАН, 2012. — С. 151–157. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Соколов Игорь Владимирович*¹ — доктор технических наук, зав. лабораторией, e-mail: geotech@igduran.ru,

*Никитин Игорь Владимирович*¹ — научный сотрудник,

¹ Институт горного дела Уральского отделения РАН.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 4, pp. 45–53.

I.V. Sokolov, I.V. Nikitin

EFFICIENT APPLICATION OF PROMISING METHODS AND SCHEMES OF GETTING ACCESS TO PIT-BOTTOM RESERVES IN HYBRID MINING OF KIMBERLITE DEPOSITS

At the stage of transition from open pit to underground mining at kimberlite deposits in Yakutia, the urgent scientific-and-technical objective is to find promising methods and schemes for getting access to pit-bottom reserves, providing saving of capital and operating costs as well as reduced timing of commissioning of underground mine, and to substantiate ranges of efficient application of these methods and schemes. The features of hybrid mining of kimberlite are revealed in the article, namely: deep open pit (to 640 m), considerable depth of occurrence of useful reserves under the open pit bottom (to 900 m), and complicated climatic, geological and hydrogeological conditions. These features should be taken into account when developing the evaluation and selection procedure for the relevant methods and schemes for exposure of pit bottom reserves. The basic parameters and factors that influence efficiency of getting access to pit-bottom reserves in hybrid mining are determined and grouped. The resultant six scenarios of exposure of pit-bottom reserves differ in sequence, type and layout of basic access entries, the ranges of their efficient application are determined based on the criterion of total capital cost of construction of underground mine and operating expenditures connected with kimberlite haulage and hoisting. This criterion is variable depending on the diameter and occurrence depth of the pipe, and on the depth of the open pit mine.

Key words: kimberlite deposit, hybrid mining, method to get access to reserves, scheme of getting access, parameters of getting access, influential factors, economical and mathematical modeling, discounted expenditures.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-4-0-45-53

AUTHORS

*Sokolov I.V.*¹, Doctor of Technical Sciences,
Head of Laboratory, e-mail: geotech@igduran.ru,

*Nikitin I.V.*¹, Researcher,

¹ Institute of Mining of Ural Branch, Russian Academy of Sciences,
620075, Ekaterinburg, Russia.

ACKNOWLEDGEMENTS

These studies have been supported in the framework of the Integrated Program of Basic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences: Substantiation of methods and stages of adapting mine-technical systems to variable mining conditions at complex-structure deep-level mineral deposits, Project No. 18-5-5-10.

REFERENCES

1. Klishin V.I., Filatov A.P. *Podzemnaya razrabotka almazonosnykh mestorozhdeniy Yakutii* (Underground mining of diamond deposits in Yakutia), Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2008, 337 p.
2. Puchkov L.A., Kuz'min E.V., Kazikaev D.M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 1999, no 5, pp. 138–140.
3. Ryl'nikova M.V., Aynbinder I.I., Kramskov N.P., Pis'mennyy A.V. *Gornyy zhurnal*. 2011, no 1, pp. 55–58.
4. Zamesov N.F., Aynbinder I.I., Zvekov V.A. *Gornyy zhurnal*. 2005, no 4, pp. 36–39.
5. Kovalenko A.A., Tishkov M.V., Neverov S.A. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornyykh nauk*. 2016, vol. 1, no 3, pp. 305–311.
6. Litvinenko V.S., Boguslavskiy E.I., Andreev M.N. *Zapiski Gornogo instituta*. 2011, vol. 194, pp. 79–83.
7. Pis'mennyy A.V., Drozdov A.V., Kramskov N.P. *Gornyy zhurnal*. 2011, no 1, pp. 67–70.
8. Vokhmin S.A., Trebush Yu.P., Kurchin G.S., Mayorov E.S., Zajtseva K.V. Peculiarities in setting norms of extraction in underground mining of diamond ore. *Universal Journal of Engineering Science*. 2014. Vol. 2. Pp. 39–42. DOI: 10.13189/ujes.2014.020201.
9. Yakovlev V.L. *Problemy nedropol'zovaniya*. 2015, no 2, pp. 5–9. DOI: 10.18454/2313-1586.2015.02.005.
10. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Yu.G., Nikitin I.V., Baranovskiy K.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2013, no 9, pp. 357–362.
11. Ordin A.A., Klishin V.I., Goncharov V.M. Computer and information modeling of the transition process from opened to underground mining. *Proceedings: International Conference on Applications of Computer and Information Sciences to Nature Research, ACISNR 2010*. Fredonia, NY, 2010. Pp. 86–88. DOI: 10.1145/1868013.1868036.
12. Sftmfeker C., Lienndorf J., Oliver-Xfarkus Lalistrater O.-X. Optimizing of long-term mine planning in large lignite deposits. *Mine Planning and Equipment Selection: Proceedings of the 22nd MPES Conference*, Dresden, Germany, 14th–19th October 2013. Switzerland: Springer International Publishing, 2014. Pp. 113–125.
13. Sokolov I.V., Antipin Yu.G. *Gornyy zhurnal*. 2012, no 1, pp. 67–71.
14. Sokolov I.V., Antipin Yu.G., Nikitin I.V. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 6, pp. 190–196.
15. Nikitin I.V. *Problemy nedropol'zovaniya: materialy VI Vserossiyskoy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*, 8–10 fevralya 2012 g. (Subsoil Use Problems: VI All-Russian Youth Scientific-Practical Conference Proceedings, 8–10 February 2012), Ekaterinburg, UrO RAN, 2012, pp. 151–157.

FIGURES

Fig. 1. Structural layouts: (a) variants 1–3 and (b) variants 4–6.

Fig. 2. Overall discounted values versus (a) pipe diameter, (b) pipe occurrence depth and (c) open pit mine depth.

TABLE

Basic parameters and factors influencing efficiency of getting access to mineral reserves in hybrid mining.

