ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2020;(3-1):326-337
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 622.272.06 DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-326-337

ОБОСНОВАНИЕ ПОДЗЕМНОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С УЧЕТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

И.В. Соколов[1], **Ю.Г. Антипин**[1], **А.А. Смирнов**[1], **И.В. Никитин**[1]

[1] Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН)

Аннотация: В рамках нового методологического подхода выполнено научно-техническое обоснование оптимальной подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений с учетом особенностей переходных процессов. На основе анализа практики комбинированной разработки рудных месторождений выявлены особенности переходного процесса: резкое снижение величины производственной мощности предприятия и увеличение объемов капитальных вложений, определена его основная цель – создание наиболее благоприятных условий для трансформации горного предприятия из одного стабильного состояния в другое. Систематизированы типы переходных зон в зависимости от схемы ведения открытых и подземных горных работ в переходный период. Разработано 4 рациональных варианта подземной геотехнологии, учитывающие специфические факторы и условия, образованные при ведении открытых горных работ, обеспечивающие оптимальные параметры для развития подземных горных работ на новом стабильном этапе. Методом экономико-математического моделирования для условий Сафьяновского медноколчеданного месторождения исследовано влияние на валовую прибыль специфических факторов – глубины карьера, изменяющейся в диапазоне от 140 до 380 м, и глубины подкарьерных запасов, изменяющейся в диапазоне от 80 до 320 м. Установлен по критерию чистого дисконтированного дохода оптимальный вариант подземной геотехнологии, предусматривающий поэтапное вскрытие подкарьерных запасов автотранспортным уклоном из карьера и наклонным съездом с поверхности, отработку переходной зоны этажно-камерной системой с закладкой под рудным изолирующим целиком, сформированным в пределах переходной зоны, и дальнейшее освоение основных запасов этажно-камерной системой с закладкой под закладочным массивом.

Ключевые слова: комбинированная разработка, подземная геотехнология, переходный процесс, переходная зона, схема вскрытия, система разработки, специфические факторы, экономико-математическое моделирование.

Благодарность: Исследования выполнены в рамках государственного задания №075–00581–19–00 по Теме №0405–2019–0005.

Для цитирования: *Соколов И.В., Антипин Ю.Г., Смирнов А.А., Никитин И.В.* Обоснование подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений с учетом особенностей переходных процессов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 3-1. – С. 326–337. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-326-337.

Substantiation of underground geotechnology at the combined mining of ore deposits on the basis of accounting the features of transients

I.V. Sokolov[1], **Y.G. Antipin**[1], **A.A. Smirnov**[1], **I.V. Nikitin**[1]

[1] The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Abstract: Within the new methodological approach, a scientific and technical substantiation of the optimal underground geotechnology with the combined development of ore deposits based on the characteristics of transients was completed. Based on the analysis of experience of the combined development of ore deposits, the transition process features were revealed: a sharp decrease in the production capacity of the enterprise and an increase in capital investments, and its main goal was determined — to create the most favorable conditions for the transformation of the mining enterprise from one stable state to another. The types of transition areas are systematized depending on the scheme of conducting open and underground mining during the transition period. Four rational options for underground geotechnology that take into account specific factors and conditions formed during open mining, providing optimal parameters for the development of underground mining at a new stable stage, are developed. The method of economic and mathematical modeling for the conditions of the of the Safyanovsky copper deposits investigated the influence of specific factors on the gross profit — the depth of the open pit, which varies in the range from 140 to 380 m, and the depth of the reserves under open pit, which varies in the range from 80 to 320 m. The best option for underground geotechnology, which provides for the phased opening of underquarry reserves by a autoincline from the open pit and an runaway from the surface, mining the transition zone by level-chamber system with filling under ore insulating pillar formed within the transition zone, and the further development of the main reserves by level-chamber system with filling under filling mass, is established by the criterion of net present value.

Key words: combined mining, underground geotechnology, transient, transition areas, scheme of opening, mining system, specific factors, economic and mathematical modeling.

Acknowledgments: the Research was carried out within the framework of the state task № 075-00581-19-00 on the Topic № 0405-2019-0005.

For citation: Sokolov I.V., Antipin Y.G., Smirnov A.A., Nikitin I.V. Substantiation of underground geotechnology at the combined mining of ore deposits on the basis of accounting the features of transients. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):326-337. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-31-0-326-337.

Введение

При комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений наиболее сложным периодом является переход от открытых горных работ к подземным, поскольку предполагает кардинальное изменение технологии и механизации вскрышных и добычных работ при существенном сокращении объемов добычи, что, как правило, приводит к заметному снижению прибыли горного предприятия. Данная проблема в основном обусловлена недостаточной научно-технической обоснованностью геотехнологии отработки переходной зоны — участка месторождения, отделяющего карьер от подземного рудника, наряду с несовершенством методологических подходов — отсутствием четкого понимания цели и задач переходного процесса, должного учета его особенностей при принятии организационно-технических и технологических решений [1–3].

Поскольку система разработки и способ погашения выработанного пространства переходной зоны являются основными горнотехническими условиями освоения запасов подземным способом, то задача научного изыскания и выбора эффективной и безопасной подземной геотехнологии при переходе от открытых к подземным горным работам на основе учета особенностей переходных процессов является весьма актуальной.

Методы исследования

Для решения научно-технической задачи по обоснованию оптимальной геотехнологии при комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений нами использован новый методологический подход, предложенный член-корр. РАН В.Л. Яковлевым. Подход базируется на принципах системности, комплексности, междисциплинарности и инновационной направленности, то есть исследовании и всестороннем учете переходных процессов при разработке инновационных технологий добычи и переработки минерального сырья [4]. Переходные процессы, как правило, связаны с изменениями границ извлекаемых запасов, способа их оценки, добычи и обогащения, совершенствованием конструкции и параметров технологий, модернизацией оборудования, заменой устаревших технических средств на более современные и др.

Переходный процесс в результате целеполагания инициируется субъектом экономической деятельности — горным предприятием. При этом устойчивое развитие горного предприятия в условиях постоянно изменяющейся внешней среды и необходимости удовлетворения новых требований можно обеспечить только путем изменения (трансформации, обновления) внутри самого предприятия (структуры и параметров) [5]. Подобная трансформация с целью достижения нового стабильного состояния и представляет собой существо переходного процесса.

Для достижения цели, имеющей определенный набор технических и экономических параметров, должны быть определены показатели, характеризующие новое стабильное состояние горного предприятия, а также разработаны соответствующие типу переходного процесса мероприятия — комплексный план действий по решению конкретных технических, технологических и организационных задач.

Цель и особенности переходных процессов

Анализ и обобщение мировой практики комбинированной разработки рудных месторождений [6–11] показывают, что переходный процесс, как правило, сопровождается резким изменением технико-экономических показателей горного предприятия, а именно значительным снижением величины производительности предприятия в результате уменьшения производственных площадей, фронта и концентрации добычных работ при переходе на качественно новую геотехнологию, а также существенным увеличением объемов капитальных затрат по сравнению со стабильным периодом вследствие необходимости вскрытия новых рудных площадей для добычи руды качественно новой геотехнологией.

Таким образом, основной целью исследуемого переходного процесса является создание наиболее благоприятных условий для трансформации горного предприятия из одного стабильного состояния в другое путем реализации оптимальных технических, технологических и организационных решений, в том числе по устранению

или минимизации влияния негативных факторов, действующих в переходный период. Главными характеристиками и по совокупности основными особенностями переходного процесса являются резкое снижение величины годовой производственной мощности предприятия и увеличение объемов капитальных вложений [12].

В зависимости от схемы ведения открытых и подземных горных работ в переходный период выделены два основных типа переходных зон (табл. 1). Видно, что тип переходной зоны обуславливает способ ее разработки, при этом он может быть как традиционным (открытым или подземным), так и комбинированным.

Основные технологические решения

Эффективность и безопасность освоения переходной зоны во многом обусловлена конструкцией и параметрами подземной геотехнологии, представляющей собой рациональное сочетание порядка развития горных работ во времени и пространстве, способа и схемы вскрытия, технологии очистной выемки и способа погашения выработанного пространства [13, 14]. Для определения оптимальной подземной геотехнологии необходимо согласование организационно-технических и технологических решений по освоению переходной зоны с производственной программой предприятия как при доработке карьера, так и при освоении основных запасов подземных горных работ (рис. 1).

Исходя из основной цели и установленных особенностей переходных процессов, а также на основе систематизации типов переходных зон, разработаны четыре рациональных варианта подземной геотехнологии при переходе от открытых к подземным горным работам, различающиеся следующими признаками: положение бортов карьера на конец отработки, направление развития горных работ при доработке месторождения подземным способом, схема вскрытия подкарьерных запасов, система разработки переходной зоны и основных запасов подземных горных работ, способ изоляции подземного блока от карьера.

Вариант 1. Борта карьера обрушены. Порядок развития подземных горных работ — нисходящий, начиная с переходной зоны. Вскрытие подкарьерных запасов — вертикальными стволами с поверхности. Система разработки переходной зоны — этажное принудительное обрушение под массивом разрыхленных пород, образованном на дне карьера, основных запасов — подэтажное обрушение.

Вариант 2. Борта карьера в устойчивом состоянии. Порядок развития подземных горных работ — нисходящий, начиная с переходной зоны. Вскрытие подкарьерных запасов — автоуклоном из карьера и наклонным автосъездом с поверхности. Система разработки переходной зоны — этажно-камерная с твердеющей закладкой под рудным барьерным целиком (рис. 2), основных запасов — этажно-камерная с твердеющей закладкой под закладочным массивом.

Вариант 3. Борта карьера обрушены. Порядок развития подземных горных работ — восходящий, начиная с нижнего этажа. Вскрытие подкарьерных запасов — вертикальными стволами с поверхности. Система разработки переходной зоны — этажное принудительное обрушение под массивом разрыхленных пород, образованном на дне карьера, основных запасов — этажно-камерная с твердеющей закладкой под рудным массивом (рис. 3).

Таблица 1

Систематизация типов переходных зон при комбинированной разработке рудных месторождений

Systematization of types of transition areas at the combined mining of ore deposits

Тип переходной зоны (объект разработки)	*Технология отработки переходной зоны*
1. Одновременное (совместное) ведение открытых и подземных горных работ	
Этаж (несколько этажей) вблизи барьерного рудного целика	Традиционная технология, применяемая на стабильном этапе работы предприятия
2. Разновременное (раздельное) ведение открытых и подземных горных работ	
Подэтаж (этаж) в приграничном пространстве между карьером и основными запасами подземного рудника	Специальная технология, отличная от применяемой на стабильном этапе работы предприятия

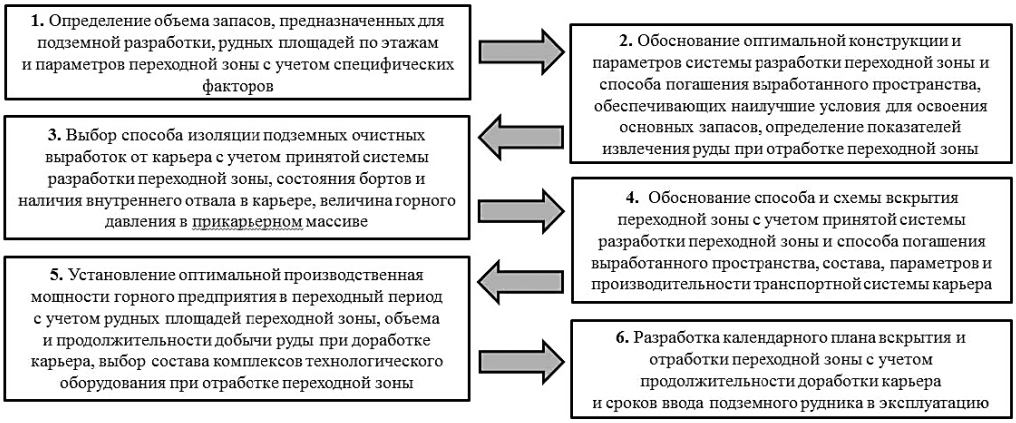

Рис. 1. Блок-схема решения научно-технических задач по определению оптимальной подземной геотехнологии

Fig. 1. Block diagram for solving scientific and technical tasks to determine the optimal underground geotechnology

Вариант 4. Борта карьера в устойчивом состоянии. Порядок развития подземных горных работ — восходящий, начиная с нижнего этажа. Вскрытие подкарьерных запасов — автоуклоном из карьера и наклонным автосъездом с поверхности. Система разработки переходной зоны — этажно-камерная с твердеющей закладкой под рудным барьерным целиком, основных запасов — этажно-камерная с твердеющей закладкой под рудным массивом.

Все рассмотренные варианты обеспечивают безопасность горных работ и возможность выхода подземного рудника на производственную мощность от 400 до 1000 тыс. т руды в год.

Результаты исследования и их обсуждение

Учитывая основную цель переходного процесса при комбинированной разработке месторождений, оценку эффективности подземной геотехнологии отработки переходной зоны и определение ее оптимальных параметров, целесообразно осуществлять по одному из интегральных критериев — чистый дисконтированный доход (ЧДД) или валовая прибыль [15, 16].

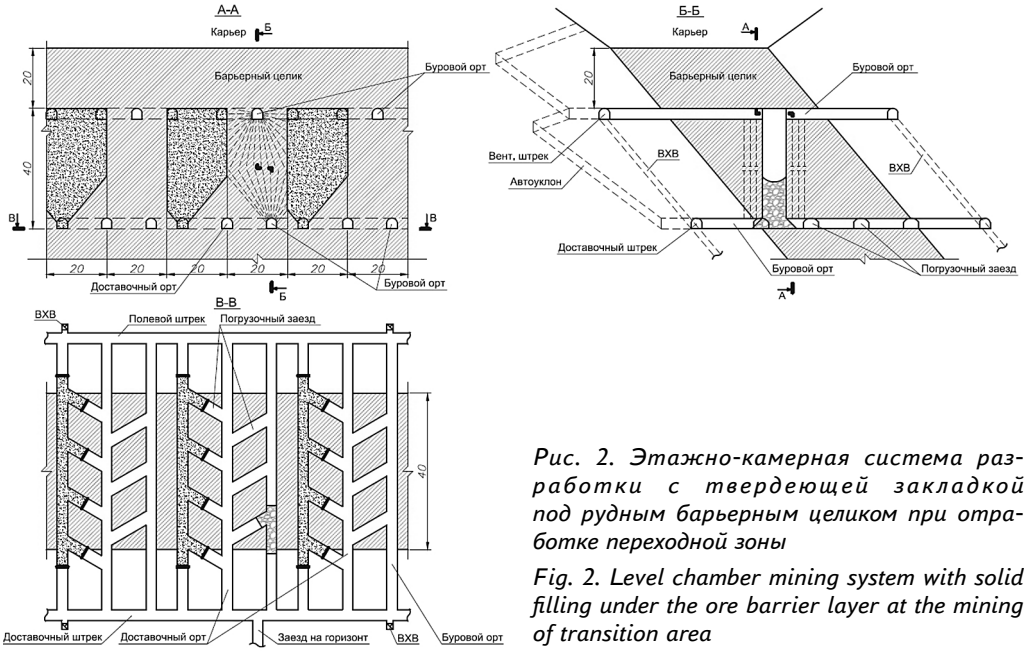

Рис. 2. Этажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой под рудным барьерным целиком при отработке переходной зоны

Fig. 2. Level chamber mining system with solid filling under the ore barrier layer at the mining of transition area

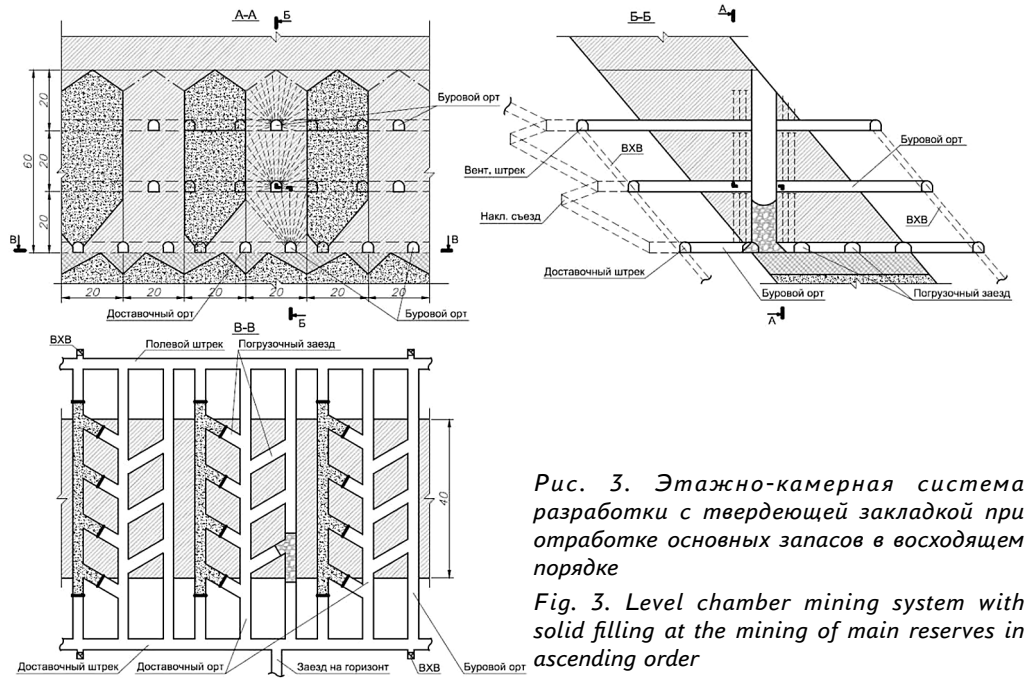

Рис. 3. Этажно-камерная система разработки с твердеющей закладкой при отработке основных запасов в восходящем порядке

Fig. 3. Level chamber mining system with solid filling at the mining of main reserves in ascending order

Методом экономико-математического моделирования для условий последовательной схемы комбинированной разработки Сафьяновского медноколчеданного месторождения (длина рудной залежи по простиранию состав-

ляет 600 — 750 м, глубина по падению 500 — 650 м, мощность 50 — 60 м, угол падения 45 — 50° и глубина карьера 300 м) исследовано влияние на валовую прибыль важнейших специфических факторов — глубины карьера, изменяющейся в диапазоне от 140 до 380 м при глубине залегания месторождения 620 м, и глубины подкарьерных запасов, изменяющейся в диапазоне от 80 до 320 м при глубине карьера 300 м.

В результате моделирования с целью изучения влияния глубины карьера (рис. 4) установлено следующее:

• при отработке переходной зоны прибыль с увеличением глубины карьера во всех вариантах уменьшается незначительно (на 7 — 10 %) и в основном за счет роста затрат вследствие увеличения глубины основных вскрывающих выработок и длины квершлагов;

• при освоении всех подкарьерных запасов прибыль имеет обратную линейную зависимость от глубины карьера во всех вариантах за счет снижения извлекаемой ценности вследствие уменьшения извлекаемых запасов и увеличения затрат в результате относительного увеличения доли запасов переходной зоны.

В результате моделирования с целью изучения влияния глубины подкарьерных запасов (рис. 5) установлено следующее:

• при отработке переходной зоны изменение глубины подкарьерных запасов не оказывает никакого влияния на прибыль из-за постоянства затрат на ее отработку;

• при освоении всех подкарьерных запасов прибыль имеет прямую линейную зависимость от глубины их распространения во всех вариантах за счет повышения извлекаемой ценности вследствие роста извлекаемых запасов даже при увеличении капитальных затрат в результате увеличения суммарной длины основных вскрывающих выработок и количества вскрываемых горизонтов.

В результате моделирования с целью оценки разработанных вариантов подземной геотехнологии при переходе от открытых к подземным горным работам на Сафьяновском медноколчеданном месторождении (объем подкарьерных запасов около 7 — 10 млн т) по критерию максимума ЧДД, учитывающему динамику развития подземных горных работ во времени (рис. 6), установлено следующее:

• наиболее эффективным является вариант 2 за счет минимальной продолжительности строительства подземного рудника (4 года) и наименьших капитальных вложений, несмотря на более высокие эксплуатационные затраты на отработку переходной зоны с учетом технических решений, обеспечивающих оптимальные условия для эффективной и безопасной отработки основных запасов;

• наименее эффективными являются варианты 1 и 3 из-за больших сроков строительства рудника (5 и 6 лет соответственно) и, как следствие, увеличенных сроков окупаемости (10 и 14 лет соответственно). Данные результаты подтверждают нецелесообразность применения схем вскрытия вертикальными стволами с поверхности при комбинированной разработке медноколчеданных месторождений с относительно небольшими запасами (до 15 — 20 млн т) [17].

Заключение

Обоснование оптимальной геотехнологии при комбинированной разработке глубокозалегающих рудных месторождений с учетом особенностей переходных процессов состоит в выполнении следующих этапов:

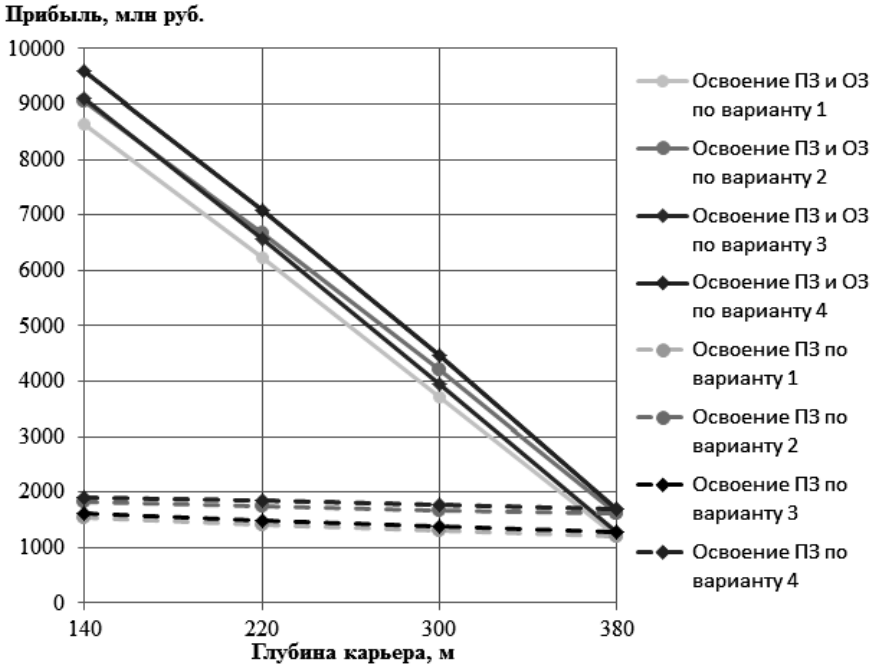

Рис. 4. Зависимость валовой прибыли от глубины карьера

Fig. 4. The dependence of the gross profit from the depth of the open pit

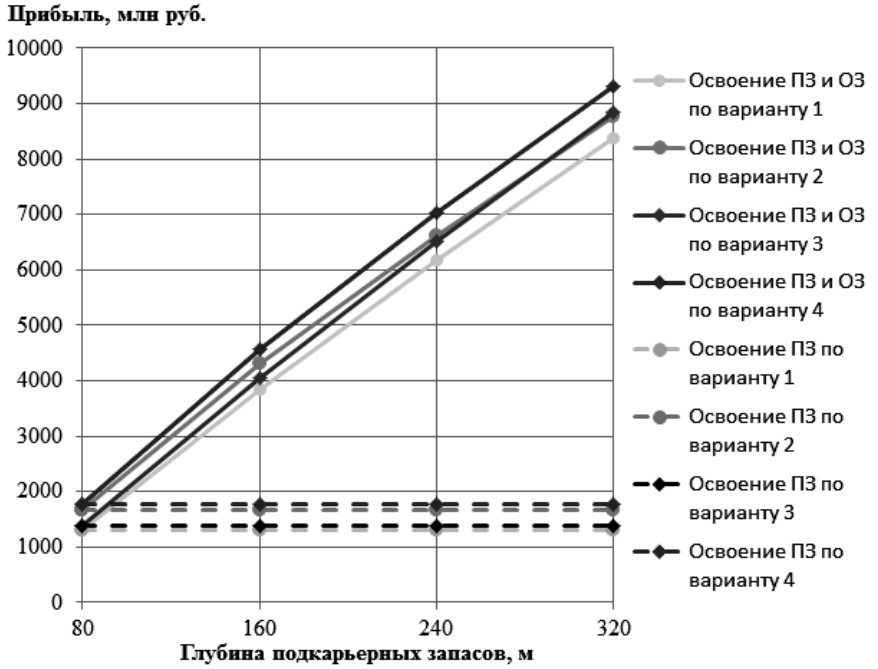

Рис. 5. Зависимость валовой прибыли от глубины подкарьерных запасов

Fig. 5. The dependence of the gross profit from the depth of the reserves under open pit

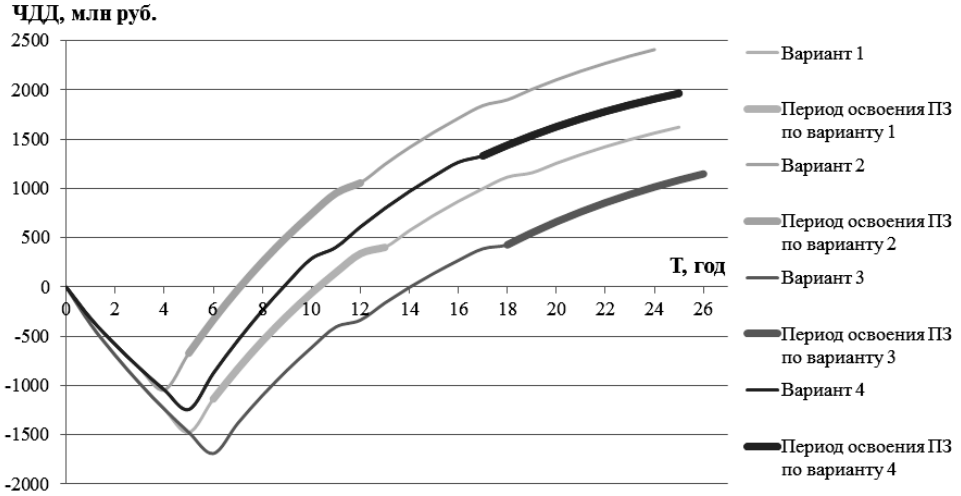

Рис. 6. ЧДД в период доработки месторождения подземным способом
Fig. 6. NPV during the completion of the field by underground mining

• систематизация типов переходных зон в зависимости от схемы ведения открытых и подземных горных работ в переходный период;

• разработка рациональных вариантов подземной геотехнологии, учитывающих специфические условия, образованные при ведении открытых горных работ, и обеспечивающие оптимальные параметры для развития подземных горных работ на новом стабильном этапе;

• исследование влияния важнейших специфических факторов, в том числе глубины карьера и глубины подкарьерных запасов, на валовую прибыль;

• установление на основе экономико-математического моделирования по критерию чистого дисконтированного дохода наиболее эффективного варианта подземной геотехнологии.

Для условий последовательной схемы комбинированной разработки Сафьяновского медноколчеданного месторождения обоснован оптимальный вариант подземной геотехнологии, предусматривающий поэтапное вскрытие подкарьерных запасов автоуклоном из карьера и наклонным съездом с поверхности, отработку переходной зоны этажно-камерной системой с закладкой под рудным изолирующим целиком, сформированным в пределах переходной зоны, и дальнейшее освоение основных запасов этажно-камерной системой с закладкой под закладочным массивом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Каплунов Д.Р.*, *Рубан А.Д.*, *Рыльникова М.В.* Комплексное освоение недр комбинированными геотехнологиями / Под ред. акад. *РАН К.Н.* Трубецкого. — М.: ООО НИИИЦ «Недра-XXI», 2010. — 304 с.

2. *Каплунов Д.Р.*, *Рыльникова М.В.*, *Калмыков В.Н.* Комбинированная разработка рудных месторождений. — М.: Изд-во «Горная книга», 2011. — 344 с.

3. *Яковлев В.Л.*, *Соколов И.В.*, *Саканцев Г.Г.*, *Кравчук И.Л.* Исследование переходных процессов при комбинированной разработке рудных месторождений // Горный журнал. — 2017. — № 7. — С. 46–50.

4. *Яковлев В.Л.* Исследование переходных процессов — новый методологический подход к разработке и развитию инновационных технологий добычи и рудоподготовки минерального сырья при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений // Проблемы недропользования [Электронный ресурс]. — 2017. — № 2. — С. 5–14. URL: http://trud.igduran.ru (дата обращения: 18.11.2019).

5. *Лоскутова О.В.* Управление риском и экономической устойчивостью горных предприятий на основе теории нечетких множеств. — М.: Изд-во «Недра Коммуникейшенс Лтд», 2004. — 196 с.

6. *Соколов И.В.*, *Смирнов А.А.*, *Антипин Ю.Г.*, *Никитин И.В.*, *Тишков М.С.* Обоснование параметров предохранительной подушки при отработке подкарьерных запасов трубки «Удачная» системами с обрушением // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2018. — № 2. — С. 52–62.

7. *Trubetskoy K.N.*, *Galchenko Y.P.*, *Ainbinder I.I.*, *Sabinyan G.V.* Outlook for the enhanced safety and improved efficiency of diamond deposit mining. Journal of Mining Science, 2009, Vol. 45, no 6, pp. 581–589.

8. Ben-*Awuah E.*, *Richter O.*, *Elkington T.*, *Pourrahimian Y.* Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. International Journal of Mining Science and Technology, 2016, Vol. 26, no 6, pp. 1065–1071.

9. *King B.*, *Goycoolea M.*, *Newman A.* Optimizing the open pit-to-underground mining transition. European Journal of Operational Research, 2017, Vol. 257, no 1, pp. 297–309.

10. *Григорьев В.В.*, *Калмыков В.Н.*, *Рыльникова М.В.* Развитие горных работ в период перехода с открытого на подземный способ разработки Учалинского месторождения // Горный журнал. — 2010. — № 5. — С. 88–92.

11. *Gromov E.V.*, *Belogorodtsev O.V.* Improvement of access methods for ore reserves beyond ultimate limits of open pits. Eurasian Mining, 2019. no 1. pp. 16–20.

12. *Соколов И.В.*, *Антипин Ю.Г.*, *Никитин И.В.* Принципы формирования и критерий оценки геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений подземным способом // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 9. — С. 151–160.

13. *Волков Ю.В.* Системы разработки подземной геотехнологии медноколчеданных месторождений Урала. — Екатеринбург: УрО РАН, 2001. — 198 с.

14. *Соколов И.В.*, *Смирнов А.А.*, *Антипин Ю.Г.*, *Никитин И.В.* Теоретические основы геотехнологической стратегии освоения переходных зон рудных месторождений подземным способом // Проблемы недропользования [Электронный ресурс]. — 2019. — № 1. — С. 14–22. URL: http://trud.igduran.ru (дата обращения: 26.12.2019).

15. *Душин А.В.*, *Такташкин Б.А.* Экономическая оценка минерально-сырьевого потенциала твердых полезных ископаемых с учетом национального ресурсного режима // Экономика региона. — 2013. — № 1. — С. 88–95.

16. *Sitorous F.*, *Cilliers J.J.*, *Brito-Parada P.R.* Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends // Expert Systems with Applications, 2019. Vol. 121. pp. 393–417.

17. *Рыльникова М.В.*, *Калмыков В.Н.*, *Ивашов Н.А.* Эффективные схемы вскрытия при комбинированной разработке рудных месторождений // Недропользование — XXI век. — 2007. — № 2. — С. 44–48. ГИАБ

REFERENCES

1. Kaplunov D.R., Ruban A.D., Ryl'nikova M.V. *Kompleksnoe osvoenie nedr kombinirovannymi geotehnologijami* [Complex subsoil development by combined geotechnologies], Moscow, OOO NIIIC «Nedra-XXI», 2010, 304 p. [In Russ].

2. Kaplunov D.R., Ryl'nikova M.V., Kalmykov V.N. *Kombinirovannaja razrabotka rudnyh mestorozhdenij*. [Combined mining of ore deposits] , Moscow, Gornaja kniga, 2011, 344 p. [In Russ].

3. Jakovlev V.L., Sokolov I.V., Sakancev G.G., Kravchuk I.L. Transition process research in the combined development of ore deposits. *Gornyj zhurnal*. 2017, no 7, pp. 46–50. [In Russ].

4. Jakovlev V.L. Transition process research — a new methodological approach to the development and evolution of innovative technologies for the mining and ore preparation of raw minerals in the development of deeply seated complex deposits. *Problemy nedropol'zovanija*. 2017. no 2. pp. 5–14. available at: http://trud.igduran.ru (accessed 18.11.2019).

5. Loskutova O.V. *Upravlenie riskom i jekonomicheskoj ustojchivost'ju gornyh predprijatij na osnove teorii nechetkih mnozhestv* [Risk and economic sustainability management of mining enterprises based on the theory of indecipherable variety], Moscow, Nedra Kommjunikejshens Ltd, 2004, 196 p. [In Russ].

6. Sokolov I.V., Smirnov A.A., Antipin Ju. G., Nikitin I.V., Tishkov M.S. Justification of the parameters of the safety cushion during the development of reserves under open pit of the Udachnaya pipe with caving systems. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*. 2018, no 2, pp. 52–62. [In Russ].

7. Trubetskoy K.N., Galchenko Y.P., Ainbinder I.I., Sabinyan G.V. Outlook for the enhanced safety and improved efficiency of diamond deposit mining. *Journal of Mining Science*, 2009, Vol. 45, no 6, pp. 581–589.

8. Ben-Awuah E., Richter O., Elkington T., Pourrahimian Y. Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. *International Journal of Mining Science and Technology*, 2016, Vol. 26, no 6, pp. 1065–1071.

9. King B., Goycoolea M., Newman A. Optimizing the open pit-to-underground mining transition. *European Journal of Operational Research*, 2017, Vol. 257, no 1, pp. 297–309.

10. Grigor'ev V.V., Kalmykov V.N., Ryl'nikova M.V. Development of mining operations during the transition from open to underground mining for the Uchalinskoye field. *Gornyj zhurnal*. 2010, no 5, pp. 88–92. [In Russ].

11. Gromov E.V., Belogorodtsev O.V. Improvement of access methods for ore reserves beyond ultimate limits of open pits. *Eurasian Mining*, 2019. no 1. pp. 16–20.

12. Sokolov I.V., Antipin Ju. G., Nikitin I.V. The principles of formation and evaluation criteria of the geotechnological strategy for the development of transition zones of ore deposits by underground mining. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017, no 9, pp. 151–160. [In Russ].

13. Volkov Ju. V. *Sistemy razrabotki podzemnoj geotehnologii mednokolchedannyh mestorozhdenij Urala* [Underground geotechnology development systems for copper pyrite deposits of the Ural], Yekaterinburg, UrO RAN, 2001, 198 p. [In Russ].

14. Sokolov I.V., Smirniv A.A., Antipin Ju. G., Nikitin I.V. Theoretical bases of geotechnological strategy for development of transition zones of ore deposits by underground method. *Problemy nedropol'zovanija*. 2019. no 1. pp. 14–22. available at: http://trud.igduran.ru (accessed 26.12.2019).

15. Dushin A.V., Taktashkin B.A. Economic assessment of the mineral resource potential of solid minerals, taking into account the national resource regime. *Jekonomika regiona*. 2013, no 1, pp. 88–95. [In Russ].

16. Sitorous F., Cilliers J.J., Brito-Parada P.R. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends. *Expert Systems with Applications*, 2019, Vol. 121, pp. 393–417.

17. Ryl'nikova M.V., Kalmykov V.N., Ivashov N.A. Effective opening schemes in the combined development of ore deposits. *Nedropol'zovanie — XX*I *vek*. 2007, no 2, pp. 44–48. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Соколов Игорь Владимирович[1] — докт. техн. наук, действительный член Академии горных наук, врио директора, e-mail: geotech@igduran.ru,

Антипин Юрий Георгиевич[1] — канд. техн. наук, зав. лабораторией подземной геотехнологии,
Смирнов Алексей Алексеевич[1] — канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии,
Никитин Игорь Владимирович[1] — научный сотрудник лаборатории подземной геотехнологии,
[1] Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (ИГД УрО РАН), 620075 г. Екатеринбург, ГСП-219, Мамина-Сибиряка 58.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sokolov I.V.[1], Dr. Sci. (Eng.), full member of the Academy of mining sciences, acting director,
Antipin Yu.G.[1], Cand. Sci. (Eng.), head of the laboratory of underground geotechnology,
Smirnov A.A.[1], Cand. Sci. (Eng.), senior research worker of the laboratory of underground geotechnology,
Nikitin I.V.[1], research worker of the laboratory of underground geotechnology,
[1] The Institute of Mining of the Ural branch of the Russian Academy of Sciences, 620075, Ekaterinburg, Russia.

Получена редакцией 21.11.2019; получена после рецензии 12.02.2020; принята к печати 20.03.2020.
Received by the editors 21.11.2019; received after the review 12.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.