

**И.В. Соколов, Н.В. Гобов, Ю.Г. Антипин, А.А. Смирнов,
И.В. Никитин, Ю.М. Соломеин**

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВАРИАНТОВ СТРАТЕГИИ ОСВОЕНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОДЗЕМНЫХ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Изложены основные положения систематизации и методики оценки вариантов стратегии освоения железорудных месторождений с применением подземных обогатительных комплексов. На примере шахты Естюнинская сформированы варианты геотехнологической стратегии в виде технологических схем по наиболее значимым факторам: производственная мощность шахты; порядок отработки этажей; система разработки; расположение ОФ (на поверхности, под землей); способ и схема транспортирования грузов (руды, породы, концентрата, закладки); способ утилизации отходов горно-обогатительного производства – отвал, хвостохранилище, карьер, подземное выработанное пространство. Разработана методика расчета параметров и показателей горнотехнической системы по критерию условной прибыли (эффекта) с учетом денежной оценки социальных и экологических последствий реализации варианта стратегии. Установлены оптимальное расположение подземного обогатительного комплекса на нижнем (концентрационном) горизонте и зависимость условной годовой прибыли от содержания железа в балансовых запасах по разработанным вариантам стратегии.

Ключевые слова: подземная геотехнология, стратегия освоения, подземный обогатительный комплекс, транспортная схема, экономико-математическое моделирование.

В соответствии со стратегией развития рудной базы Высокогорского ГОКа (ВГОК) намечено ее расширение за счет отработки глубокозалегающих горизонтов месторождений Тагило-Кушвинской группы (Естюнинского и Гороблагодатского). Вопрос обоснования геотехнологической стратегии освоения данных месторождений, включающий разработку целей и концепции, обоснование и оценку технологических схем вскрытия и очистной выемки, порядка отработки, учет острейших экологических проблем, на сегодня не решен. Актуальность темы подчеркивается отсутствием методологической базы долгосрочного целевого планирования освоения глубокозалегающих запасов на действующих же-

лезорудных предприятиях. Вследствие этого установление принципов формирования, разработка вариантов и методики оценки геотехнологической стратегии освоения мощных глубокозалегающих месторождений на основе применения комплексной экологически ориентированной подземной геотехнологии добычи и переработки железных руд является перспективной [1].

На примере освоения запасов Естюнинского месторождения ниже гор.-240 м рассмотрены варианты геотехнологической стратегии и соответствующие им технологические схемы. В основу формирования стратегии положена концепция восполнения выбывающих мощностей ВГОКа. При этом, минимальным требованием яв-

Систематизация рациональных вариантов стратегии развития шахты Естюнинская

Порядок выемки (система разработки)	Годовая производительность			
	2,5 млн т		5,0 млн т	
	без ПОК	с ПОК	без ПОК	с ПОК
Нисходящий (с обрушением)	1-й вар. (базовый)	–	–	–
Восходящий (камерная)	2-й вар.	3-й вар	–	–
Комбинированный	–	–	4-й вар.	5-й вар.

ляется обеспечение стабильной производственной мощности шахты Естюнинская в размере 2,5 млн т руды в год (проектная), максимальным – увеличение ее производственной мощности до 5 млн т. С учетом необходимости повышения экологической безопасности создаваемых технологий, рассмотрено применение подземных обогатительных комплексов (ПОК).

Определены основные геотехнологические факторы, влияющие на формирование вариантов стратегии: система разработки (с обрушением или с закладкой), порядок выемки запасов (восходящий, нисходящий, комбинированный) и использование ПОК для получения предконцентрата на стадии сухой магнитной сепарации (СМС) или концентрата на стадии мокрой магнитной сепарации (ММС). В соответствии с ними систематизированы двенадцать технически возможных вариантов геотехнологической стратегии, из которых рациональными признаны пять вариантов (таблица).

При формировании рациональных вариантов стратегии исходили из ограничений:

- Система разработки с обрушением и традиционный нисходящий порядок обеспечивают производственную мощность шахты 2,5 млн т руды в год, определенную по горным возможностям. Использование ПОК здесь технически не рационально. При этих условиях реализуется базовый вариант стратегии.

- Данную производственную мощность обеспечивает также камерная

система разработки с закладкой и восходящей выемкой. Причем технически реализовать данную стратегию можно как без ПОК (вариант 2), так и с его применением (вариант 3).

- Увеличение производительности шахты до 5,0 млн т технически может обеспечить только параллельная нисходящая и восходящая отработка двух этажей одновременно. Данную стратегию можно реализовать как без ПОК (вариант 4), так и с его применением (вариант 5).

Целесообразность создания безотходного производства при освоении железорудных месторождений, в том числе за счет переноса процесса обогащения под землю в соответствующих горно-геологических и горнотехнических условиях рассмотрена в работах [2, 3]. Конструкция ПОК состоит из трех частей: комплекса дробления и СМС, комплекса ММС, включающего измельчение материала в стержневых и шаровых мельницах, и комплекса обезвоживания хвостов ММС. Объем горно-капитальных выработок для размещения ПОК с производительностью 5 млн т руды в год составляет 179 000 м³, из них 93 070 м³ камер, 8930 м³ бункеров, 77 000 м³ прочих выработок. Общие затраты на строительство ПОК составляют 6385 млн руб (в ценах 2013 г.), из них: на проведение выработок 2119 млн руб, на строительно-монтажные работы 636 млн руб, на монтаж оборудования 605 млн руб, стоимость основного и вспомогательного оборудования 3025 млн руб. Стоимость строитель-

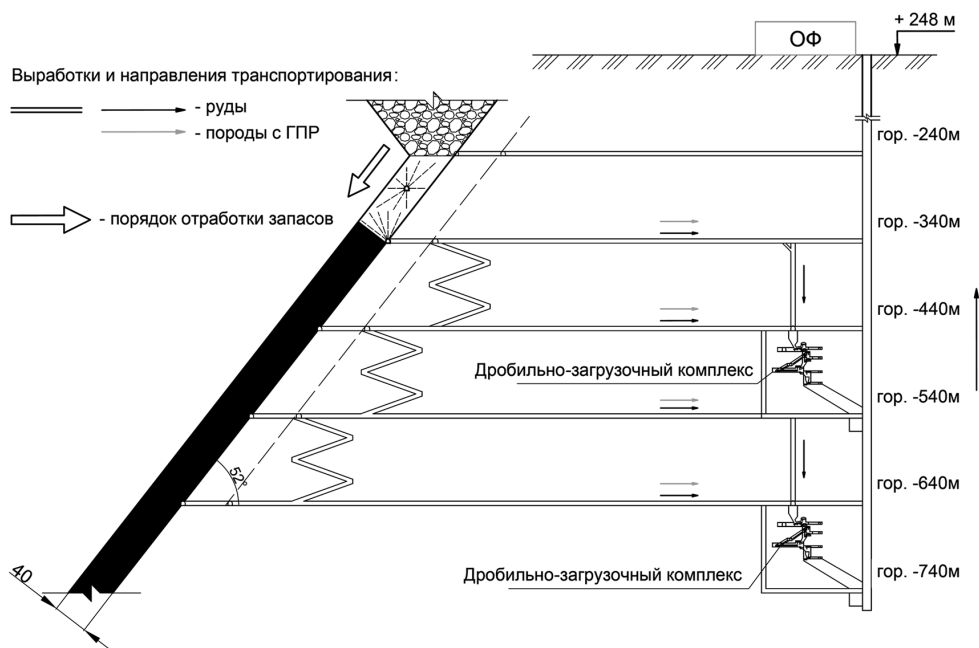


Рис. 1. Технологическая схема нисходящей выемки с обрушением и расположением ОФ на земной поверхности

ства поверхностной обогатительной фабрики (ОФ) составляет от 7,9 до 9,8 млрд руб [4]. Строительство ПОК дешевле поверхностного обогатительного комплекса на 20–35% за счет исключения затрат на обустройство шламохранилищ, отвалов, складов сырой руды, промпродуктов и хвостов обогащения на поверхности, и связывающих их коммуникаций.

При формировании технологических схем вариантов стратегии, кроме рассмотренных факторов, учтены такие значимые горнотехнические условия как: способ и схема транспортирования грузов (руды, породы, концентрата, закладки) – железнодорожный, автомобильный, конвейерный, трубопроводный, самотечный; место утилизации отходов горно-обогатительного производства – отвал, хвостохранилище, карьер, подземное выработанное пространство. На всех процессах добычного цикла принято использование самоходного оборудования (СО).

Вариант 1 (традиционный) в целом соответствует применяемой в настоящее время технологии (рис. 1). Производительность шахты 2,5 млн т руды в год. Этажи обрабатываются последовательно в нисходящем порядке этажно-камерной системой с последующим обрушением целиков. Руда и порода от проходки выработок с эксплуатационных этажей перепускается по рудоспускам на концентрационный горизонт и с помощью электровозной откатки транспортируется до ствола. ОФ располагается на поверхности. По скиповому стволу руда выдается на поверхность и железнодорожным транспортом перевозится на ОФ, порода – автотранспортом перевозится и размещается в отвалы. Отходы обогатительного производства – дробленая порода и хвосты обогащения – транспортируется, соответственно, в отвал пустых пород и хвостохранилище.

Вариант 2. Производительность шахты 2,5 млн т руды в год. Этажи обраба-

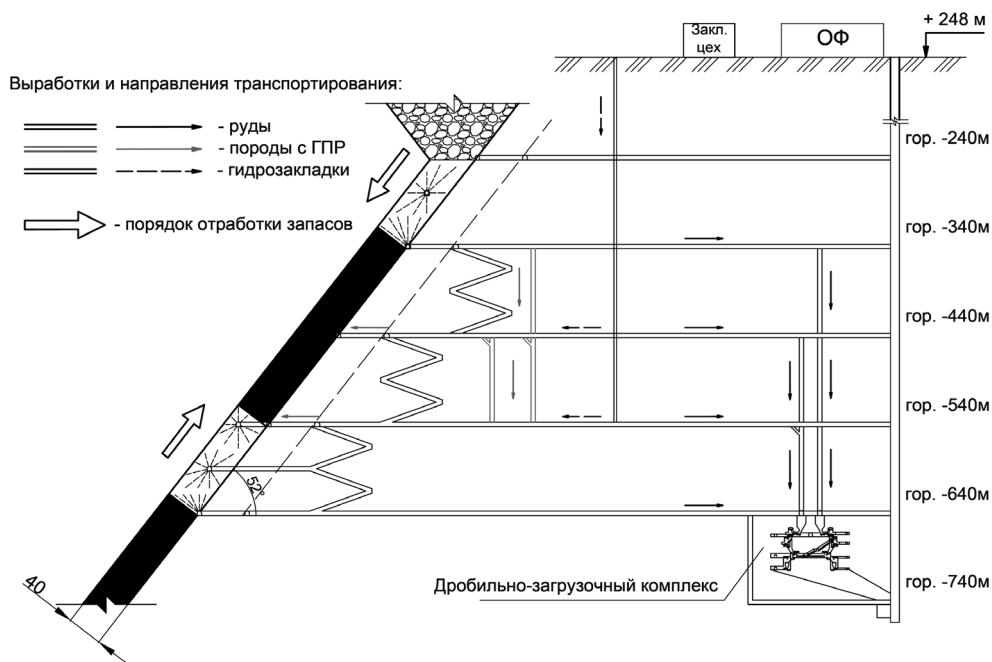


Рис. 2. Технологическая схема комбинированной нисходяще-восходящей выемки и расположением ОФ на земной поверхности

тываются последовательно в восходящем порядке этажно-камерной системой с сухой закладкой (СЗ). Порода от проходки выработок доставляется ПДМ в отработанные камеры. Отходы обогащенного производства (хвосты ММС) используются в качестве закладочного материала, доставляемые в шахту с поверхности по трубопроводу. Остальные технологические процессы аналогичны варианту 1.

Вариант 3. Производительность шахты 2,5 млн т руды в год. Вариант аналогичен варианту 2 за исключением применения ПОК, располагаемого в выработках нижнего этажа. Добытая руда из нижнего эксплуатационного этажа по автоуклону и подготовительным выработкам транспортируется автосамосвалами к ПОКу, из верхних этажей – перепускается в ПОК по рудоспускам. Хвосты обогащения, образовавшиеся на стадиях СМС (дробленая порода) и ММС после предварительного обезвоживания транспортируются до закла-

дываемых камер. Концентрат транспортируется по концентрационному горизонту электровозами до ствола и скиповым подъемом выдаются на поверхность. Дробленая порода также может выдаваться на поверхность и реализовываться в качестве щебня.

Вариант 4 (рис. 2). Производительность шахты 5,0 млн т руды в год. Этажи отрабатываются одновременно, верхние – в нисходящем порядке системой с обрушением, нижние – в восходящем порядке этажно-камерной системой с СЗ. Порода от проходки в отработанные камеры с верхних этажей по рудоспускам перепускается на нижние этажи, а затем транспортируется СО в закладываемые камеры, а с нижних этажей – доставляется ПДМ. ОФ располагается на земной поверхности. Руда с эксплуатационных этажей по рудоспускам транспортируется на концентрационный горизонт и далее локомотивами – до скипового ствола. По стволу руда выдается на по-

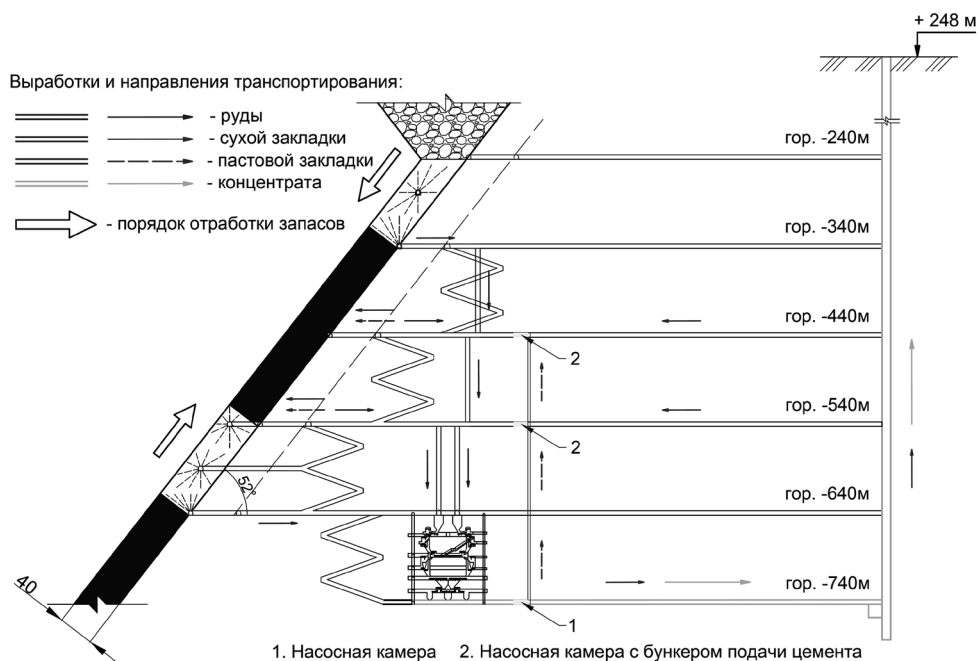


Рис. 3. Технологическая схема комбинированной нисходяще-восходящей выемки с применением ПОК

верхность и железнодорожным транспортом перевозится на ОФ. Хвосты обогащения после частичного обезвоживания транспортируются от ОФ до выработанного подземного пространства по трубам.

Вариант 5 (рис. 3). Производительность шахты 5,0 млн т руды в год. Этажи обрабатываются одновременно в комбинированном порядке, верхние – в нисходящем порядке этажно-камерной системой с последующим обрушением целиков, нижние – в восходящем порядке этажно-камерной системой с СЗ. Порода от проходки используется для СЗ аналогично варианту 4. ПОК располагается в подземных выработках нижнего этажа. Руда с нижних этажей по автоуклону транспортируются до ПОК автосамосвалами, с верхних этажей – по рудоспускам перепускается в ПОК. Хвосты обогащения после СМС (дробленая порода) и ММС, пройдя предварительное обезвоживание, транспортируются от ПОКа до

выработанного пространства отработанных камер. Концентрат транспортируются конвейером по уклону или по концентрационному горизонту электровозами до ствола, и скиповым подъемом выдается на поверхность. Дробленая порода также может выдаваться на поверхность и реализовываться в качестве щебня.

Сравнение разработанных вариантов стратегии 1–5, например при установлении эффективности конкретных технических решений (определении места расположения ПОК в вертикальной плоскости, эффективной системы разработки, схемы закладочных работ, схемы транспорта и т.п.) лучше проводить по условной недисконтированной прибыли – эффекту Э, в которой учитываются только изменяемые параметры производственных процессов, характеризующих вариант стратегии. В этом случае целесообразно оперировать не балансовыми запасами месторождения в новом шаге ос-

воения месторождения Q_6 , а годовой производственной мощностью рудника A_T , к которой следует привести капитальные затраты K в зависимости от срока отработки T . Тогда целевая функция для условий железорудного месторождения приобретает вид

$$\begin{aligned} \mathcal{E} = & [cZ\varepsilon_d\varepsilon_0A_T] - \\ & \left[\left[(K_{кв} + K_n + K_{по} + K_{ок} + K_{ДЗК} + K_{зк}) / T \right] + \right. \\ & \left. \left(\mathcal{E}_{ГНР} + \mathcal{E}_{ЗАК} + \mathcal{E}_{ВШТ} + \mathcal{E}_{ПОД} + \mathcal{E}_{ТОФ} + \mathcal{E}_{ДО} \right) \right] + \\ & + СЭП \rightarrow \max \end{aligned}$$

где c – содержание железа в балансовых запасах, доли ед.; Z – цена металла на мировом рынке FOB, руб./1% содержания железа в тонне товарной руды (концентрате); ε_d – коэффициент качественного извлечения при добыче, доли ед.; ε_0 – коэффициент извлечения металла в концентрат при обогащении доли ед.; $K_{кв}$, K_n , $K_{по}$, $K_{ок}$, $K_{ДЗК}$ и $K_{зк}$ – капитальные затраты на проходку горно-капитальных выработок, сооружение поверхностных зданий, приобретение и монтаж горно-механического стационарного оборудования, строительство обогатительного (поверхностного, ПОК) комплекса, строительство дробильно-загрузочного комплекса, строительство закладочного комплек-

са, соответственно, руб.; T – срок отработки запасов в шаге вскрытия, лет; $\mathcal{E}_{ГНР}$, $\mathcal{E}_{ЗАК}$, $\mathcal{E}_{ВШТ}$, $\mathcal{E}_{ПОД}$, $\mathcal{E}_{ТОФ}$ и $\mathcal{E}_{ДО}$ – эксплуатационные затраты на подготовительно-нарезные работы, закладочные работы, внутришахтный транспорт руды, хвостов обогащения и концентрата, подъем руды и концентрата, поверхностный транспорт руды до обогатительной фабрики, дробление и обогащение руды, соответственно, руб.; СЭП – денежная оценка социальных и экологических последствий реализации стратегии, руб.

Сформированы три рациональных схемы транспорта грузов для варианта стратегии 5:

1) А35+КУ – руда из добычных блоков до ПОК автосамосвалом МТ436LP грузоподъемностью 35 т (А35); порода из проходческих забоев до закладываемых камер ПДМ Scooptram ST14; сухая закладка (хвосты СМС) от ПОК до закладываемых камер автосамосвалом МТ436LP; гидравлическая закладка (хвосты ММС) от ПОК до закладываемых камер по трубам; концентрат от ПОК до ствола (гор. -340 м) конвейером по уклону (КУ);

2) А35+ЖД – отличается от схемы 1) тем, что концентрат от ПОК до ствола (гор. -640 м) транспортируется

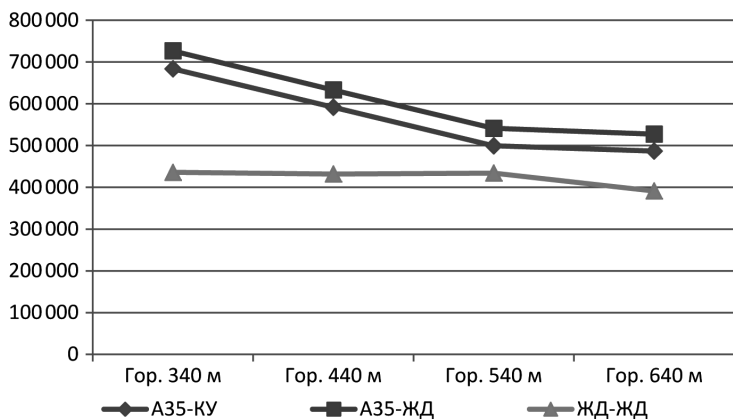


Рис. 4. Зависимость суммарных приведенных капитальных и эксплуатационных затрат на транспортирование грузов ПОК (тыс. руб.) от его высотного расположения

электровозом 14КР 2А в вагонетках ВГ-10 (ЖД);

3) ЖД+ЖД – руда по откаточным горизонтам до капитальных рудоспусков, пройденных в ПОК, электровозом 14КР 2А в вагонетках ВГ-10 (ЖД); порода из проходческих забоев до закладываемых камер ПДМ Scooptram ST 14; сухая закладка (хвосты СМС) от ПОК до ствола электровозом 14КР 2А в вагонетках ВБ-4, подъем по стволу до закладочного горизонта, транспорт от ствола до добычных блоков электровозом 14КР 2А; гидравлическая закладка (хвосты ММС) от ПОК до закладываемых камер по трубам; концентрат от ПОК до ствола электровозом 14КР 2А в вагонетках ВГ-10 (ЖД).

В соответствии с изложенной методикой для варианта 5 стратегии освоения глубоких горизонтов шахты Естюнинская в шаге -240/-640 м определено местоположение ПОК. По критерию суммарных не дисконтированных приведенных капитальных и эксплуатационных затрат на транспортирование грузов оптимальным является расположение ПОК на нижнем горизонте -640 м (рис. 4).

По абсолютной величине приведенных затрат оптимальным является железнодорожный транспорт грузов за счет более низких эксплуатационных затрат, даже при более высоких капитальных.

На основании разработанных методики, блок-схемы и программы расчета ТЭП (в приложении Microsoft Excel) выполнена технико-экономическая оценка технологических схем вариантов 1, 4 и 5 стратегии освоения Естюнинского месторождения. Расчет выполнен на годовую производительность шахты $A_T = 5$ млн т со строитель-

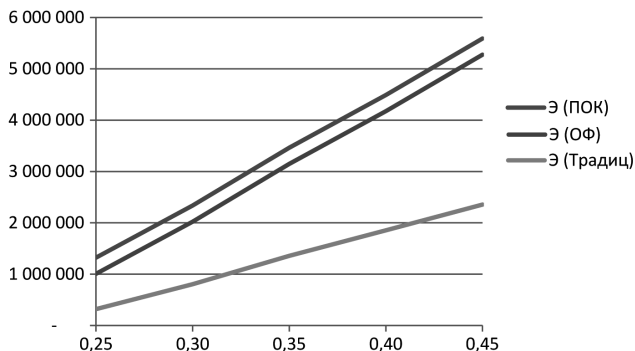


Рис. 5. Зависимость условной годовой прибыли ЭГ (тыс. руб.) от содержания железа в балансовых запасах (доли ед.) по вариантам 1, 4 и 5 стратегии

ством новой ОФ. Извлечение железа в концентрат в зависимости от его содержания в добытой руде принято по результатам работы Высокогорской ОФ. В результате экономико-математического моделирования установлена эффективность варианта 5 стратегии освоения месторождения (рис. 5).

Таким образом, геотехнологическая стратегия освоения глубокозалегающих железорудных месторождений, основанная на комбинированном нисходяще-восходящем порядке отработки верхних этажей системами с обрушением и нижних этажей камерными системами с закладкой и применении ПОК, обеспечивает увеличение производительности горнорудного предприятия, высокую эффективность производства и полную утилизацию отходов добычи и обогащения в выработанном пространстве. Разработанные систематизация и экономико-математическая модель, состоящая из методики расчета ТЭП и компьютерной программы, позволяют определять эффективные технологические схемы соответствующие различным вариантам стратегии освоения глубокозалегающего мощного железорудного месторождения и их оптимальные параметры в зависимости от горно-геологических, горнотехнических и геоэкономических факторов.

1. Соколов И.В., Гобов Н.В., Смирнов А.А., Медведев А.Н. Комплексная экологоориентированная подземная геотехнология добычи и обогащения железных руд // Экология и промышленность России. – 2013. – № 9. – С. 16–20.
2. Ельников В.Н., Лейзерович С.Г. Безотходное производство железорудного концентрата ближайшего будущего // Горный журнал. – 2003. – № 4. – С. 13–15.
3. Соколов И.И., Смирнов А.А., Гобов Н.В., Антипин Ю.Г. Целесообразность применения подземных обогатительных комплексов на железорудных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 6. – С. 197–206.
4. Технико-экономические показатели горных предприятий за 1990–2012 гг. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН. – 2013. – 361 с. **ИИАС**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Соколов Игорь Владимирович – доктор технических наук, зав. лабораторией,
 Гобов Николай Васильевич – кандидат технических наук, доцент,
 старший научный сотрудник,
 Антипин Юрий Георгиевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
 Смирнов Алексей Алексеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
 Никитин Игорь Владимирович – научный сотрудник,
 Солomeин Юрий Михайлович – младший научный сотрудник,
 Институт горного дела УрО РАН, e-mail: geotech@igduran.ru. 620219 г. Екатеринбург,

UDC 622.272.06/271.06

SYSTEMATIZATION AND ASSESSMENT PROCEDURE FOR ALTERNATIVE STRATEGIES OF IRON ORE MINING WITH UNDERGROUND PROCESSING PLANTS

Sokolov I.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Head of Laboratory,
 Gobov N.V.¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Senior Researcher,
 Antipin Yu.G.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
 Smirnov A.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,
 Nikitin I.V.¹, Researcher,
 Solomein Yu.M.¹, Junior Researcher,
¹ Institute of Mining of Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
 620219, Ekaterinburg, Russia, e-mail: geotech@igduran.ru.

The author presents systematization and assessment procedure for alternative strategies of iron ore mining using underground processing plants. In terms of Estyuninskaya mine, alternative geotechnology strategies are formulated as flowcharts based on the most important factors: mine capacity; sequence of level mining; mining system; location of processing plant (on the ground, underground); method and pattern of transportation (ore, rock, concentrate, backfill); method of mining and processing waste disposal (dump, tailings pond, open pit area, mined-out void). The calculation procedure is developed for finding mine-technical system parameters and performance based on the criterion of conventional profit return (effect) considering money value of social and economic aftereffects of an alternative strategy implementation. The author has determined the optimal location of an underground processing plant on the low (accumulation) level and the relationship between conventional annual profit and iron content of in-place reserves for the developed alternative strategies.

Key words: underground geotechnology, development strategy, underground processing plant, transportation pattern, economical-mathematical modeling.

REFERENCES

1. Sokolov I.V., Gobov N.V., Smirnov A.A., Medvedev A.N. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2013, no 9, pp. 16–20.
2. El'nikov V.N., Leizerovich S.G. *Gornyi zhurnal*. 2003, no 4, pp. 13–15.
3. Sokolov I.I., Smirnov A.A., Gobov N.V., Antipin Yu.G. *Gornyi informatsionno-analicheskii byulleten'*. 2014, no 6, pp. 197–206.
4. *Tekhniko-ekonomicheskie pokazateli gornykh predpriyatii za 1990–2012 gg.* (Economic performance of mines over the period 1990–2012), Ekaterinburg, IGD UrO RAN. 2013, 361 p.