

УДК 622.272.50

**Ю.В. Демидов, А.Ю. Звонарь, А.А. Леонтьев, В.Г. Едигарьев**

**ВЫБОР ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ ЗАПАСОВ  
НИЖНЕГО ЯРУСА НЬОРКПАХКСКОГО  
АПАТИТ-НЕФЕЛИНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

*Приведены результаты исследований, показавшие возможность и экономическую целесообразность подземной разработки запасов нижнего яруса Ньоркпахкского месторождения апатит-нефелиновой руды.*

*Ключевые слова: рудник, месторождение, балансовые запасы, производительность, система разработки, экономическая эффективность.*

**Н**ьоркпахкское апатит-нефелиновое месторождение расположено на территории Мурманской области, в пределах Хибинского щелочного массива на склонах горы Ньоркпахк и Суолуйав. Абсолютные отметки рельефа находятся в пределах  $+200 \div +600$  м, относительные превышения достигают 300 м. Климат района субарктический, с продолжительной зимой (октябрь-апрель) и коротким (июнь-август) прохладным летом. Район экономически освоен.

Верхний ярус месторождения обрабатывается в настоящее время Ньоркпахкским карьером, руда поступает на обогатительные фабрики АНОФ-2 и АНОФ-3. Расстояние от промплощадки карьера до г. Кировска — 28 км, до ст. Апатиты — 41 км. Города, рудники и фабрики связаны через ст. Апатиты Октябрьской ж. д. со всей железнодорожной сетью СНГ. Автомобильные дороги и шоссе обеспечивают связь с городами Мурманской области и г. Санкт-Петербургом.

Запасы карьера практически исчерпаны и возникла необходимость рассмотрения возможности подземной отработки нижнего яруса место-

рождения, представленного 13 рудными телами с различными условиями залегания и балансовыми запасами. Мощности рудных тел изменяются от 8 до 50 м, угол падения — от 0 до 45 градусов, глубина от поверхности — от 100 до 400 м.

Вмещающие породы относятся к крепким и очень крепким. Коэффициент крепости по Протогьяконову составляет в среднем 10—14. Апатит-нефелиновые руды относятся к крепким и средней крепости, с коэффициентом крепости 6—8. Показатель прочности пород на одноосное сжатие для руды составляет 60—200 МПа, для вмещающих пород — от 80 до 330 МПа. Плотность руд достаточно тесно связана с содержанием апатита и составляет в породах и рудах в среднем  $2,7 - 3,4$  г/см<sup>3</sup>.

В верхнем 100-метровом интервале породы имеют сильную трещиноватость. Ниже, до глубин порядка 200—300 м, по материалам разведки также фиксируется достаточно высокая трещиноватость пород.

Применительно к сложноструктурным месторождениям со значительной изменчивостью элементов залегания рудных залежей авторами разработа-

на следующая концепция проектирования геотехнологии, включающая:

- создание компьютерной геологической модели месторождения в среде MineFrame (комплекс программ, разработанных в Горном институте КНЦ РАН);

- разработку в среде «Excel» активной электронной таблицы для оценки горно-геологических условий залегания и подсчета запасов руды по выбранным ограничениям, как месторождения в целом, так и отдельных рудных залежей;

- ранжирование рудных залежей по падению и простиранию на зоны в зависимости от мощности рудных тел, угла падения и расположения их относительно контура карьера, определение балансовых запасов руды, приходящихся на каждую из технологических зон;

- анализ вариантов вскрытия и систем разработки на месторождениях с аналогичными горно-геологическими условиями, пригодных для использования по комплексу критериев;

- выбор и конструирование рациональных вариантов систем разработки для каждой из технологических зон,

- геомеханическое обоснование безопасных параметров систем разработки и последовательности ведения горных работ;

- расчёт потерь и разубоживания руды по источникам их образования и определение показателей извлечения руды из недр для каждой системы разработки;

- подсчёт по разработанной электронной таблице величины извлекаемых запасов для выбранных вариантов систем разработки, потерь и разубоживания руды по участкам рудных залежей, горизонтам и месторождению в пределах предполагаемой выемки;

- технико-экономическая оценка вариантов систем разработки для каждой из технологических зон;

- определение возможной производительности рудника, выбор рациональной схемы проветривания рудника.

На основании имеющейся геологической информации была построена модель месторождения и разработана активная электронная таблица, с помощью которой определены балансовые и извлекаемые запасы месторождения и отдельных рудных тел в зависимости от выбранных ограничений по:

- высотной отметке, величине междупластья;

- простиранию рудного тела (в соответствии с координатной сеткой для геологической модели);

- углу падения и мощности рудной залежи;

- содержанию  $P_2O_5$ ;

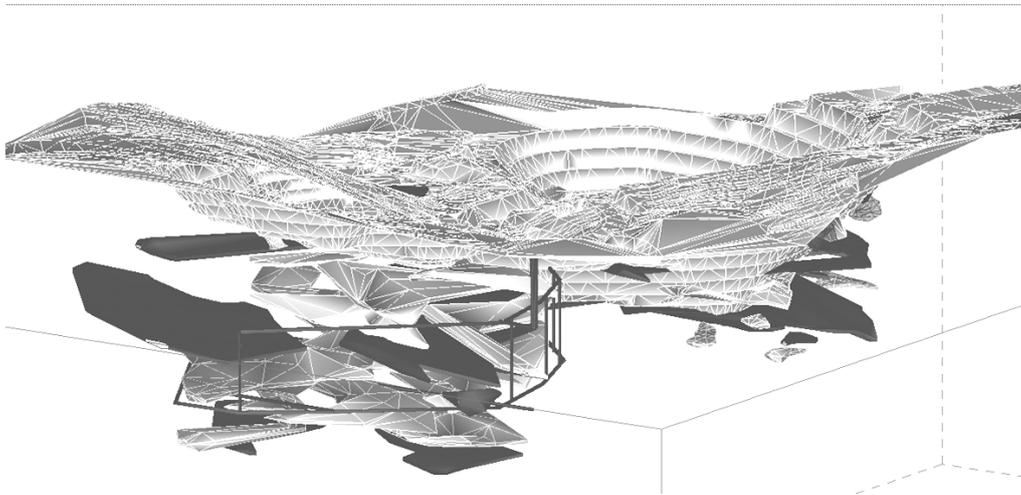
- применяемой системе разработки.

Общий вид рудных залежей нижнего яруса месторождения представлен на рис. 1.

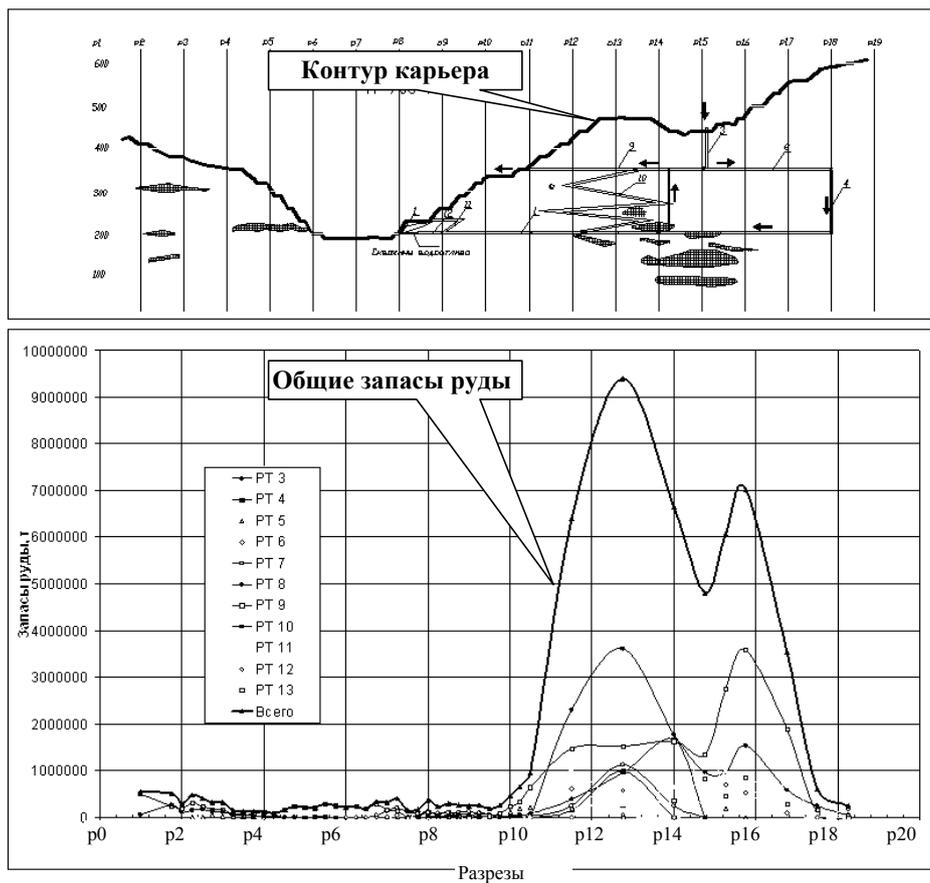
Исходя из анализа изменчивости горно-геологических условий залегания рудных залежей нижнего яруса Ньюркахкского месторождения, можно сделать следующие выводы:

Основные запасы балансовой руды расположены за пределами карьера. Подкарьерные и прибортовые балансовые запасы руды составляют около 15,9 % от всех запасов (рис. 2).

Рудные тела в прибортовой и подкарьерной части месторождения имеют мощность в основном менее 15 м и угол падения менее 20 градусов (7,2 % от всех запасов). За пределами карьера основные запасы руды представлены рудными телами мощностью более 20 м с углом падения 10—20 градусов (42 % от всех запасов). Удельный вес участков рудных тел с различными соотношениями по углу падения и мощности в целом по месторождению приведены на рис. 3.



**Рис. 1. Геологическая модель нижнего яруса Ньоркпахкского месторождения**



**Рис. 2. Распределение балансовых запасов руды в направлении простирания рудных тел и в целом по месторождению, полученное по электронной таблице**

По высотным отметкам основная доля балансовых запасов приходится на интервал от +180 до +300 м. Подкарьерные запасы сосредоточены в основном между отметками +220 и +160 м. За пределами карьера основная часть балансовых запасов находится в интервале +280 и +150 м.

Максимальная горизонтальная площадь рудных залежей достигает 220 тыс. м<sup>2</sup> на отметке +240 м, а интервал максимальной горизонтальной площади находится в пределах высотных отметок +180÷+300 м.

Анализ результатов оценки горно-геологических и горнотехнических условий показал, что в прибортовой и подкарьерной части месторождения подлежат извлечению запасы руды между высотными отметками +300÷+320 м и +160÷+220 м. За пределами карьера могут быть извлечены запасы руды между высотными отметками +80÷+320 м и +380 ÷ +400 м.

Учитывая то обстоятельство, что балансовые запасы рудных залежей выше конечной отметки дна основного карьера +180 м составляют около 60 % принято решение производить вскрытие нижнего яруса месторождения в два этапа, а именно:

- 1 этап — до отметки +200 м;
- 2 этап — до отметки +80 м.

В этом случае основные запасы рудных залежей между разрезами 11—14 могут быть извлечены на первом этапе отработки месторождения.

Рассмотрены следующие варианты схем вскрытия:

- двумя капитальными уклонами между отметками +320÷+200 м с расположением порталов вблизи рудного склада Ньюкпахкского карьера и воздуховыдающим восстающим;

- двумя капитальными штольнями на отметке +200 м с расположением порталов в центральной части карье-

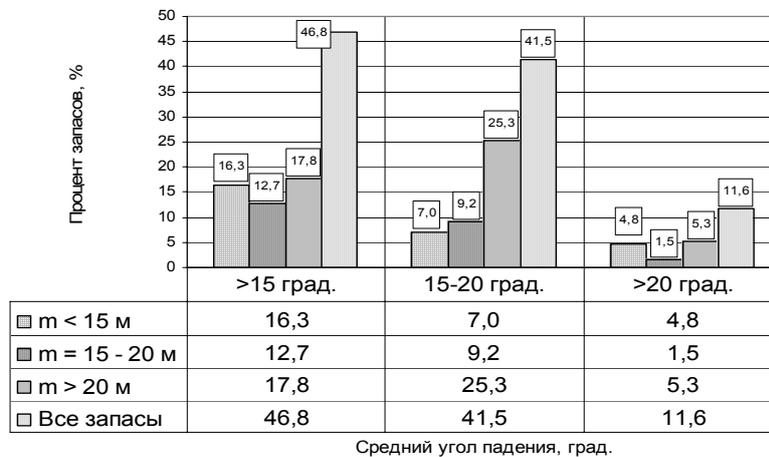
ра, воздуховыдающим восстающим и воздуховыдачной штольней. Вариант вскрытия может быть осуществлен после отработки карьера;

- двумя капитальными штольнями на отметке +230 м с расположением порталов в восточной части карьера, двумя капитальными уклонами до отметки +200 м, воздуховыдающим восстающим и воздуховыдачной штольней. Вариант вскрытия может быть осуществлен до отработки карьера.

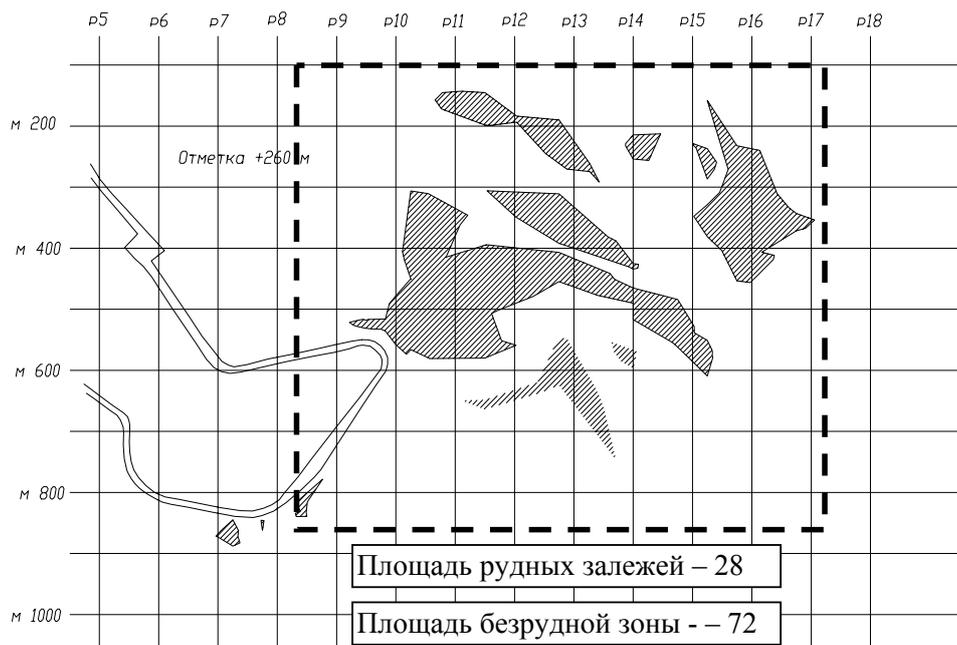
В результате сравнительной технико-экономической оценки для трех вариантов вскрытия месторождения установлено, что наиболее затратным вариантом является вариант № 1. Это связано с проходкой двух капитальных уклонов длиной около 800 м между отметками +320÷+200 м. Кроме того, при варианте вскрытия № 1 увеличивается срок ввода рудника в эксплуатацию, а результирующие показатели для него являются наихудшими. По сравнению с вариантом № 3, имеющим минимальные капитальные затраты, разница результатов производственной деятельности при коэффициенте дисконтирования  $E = 0,08$  составляет 14 %.

Наилучшим с точки зрения вскрытия и эксплуатации месторождения до завершения работ на карьере является вариант № 3, обеспечивающий минимальные капитальные затраты и позволяющий осуществлять добычу руды до завершения работ в западной части карьера. Однако при начале строительства подземного рудника после завершения работ на карьере, более предпочтительным является вариант № 2.

Исходя из проведенного анализа горно-геологических особенностей залегания рудных залежей Ньюкпахкского месторождения, добыча руды будет производиться в основном системами разработки с открытым очистным пространством. Это связано



**Рис. 3. Удельный вес участков рудных тел с различными соотношениями по углу падения и нормальной мощности рудных тел (m) для всех запасов Нижнего яруса месторождения, рассчитанный по электронной таблице**



**Рис. 4. Соотношение площадей рудной и безрудной зоны на отметке +260 м участка Ньоркпахкского месторождения в разрезах 9—18**

со значительной глубиной залегания и относительно малой мощностью рудных тел, а также наличием значительных безрудных зон (рис. 4), что препятствует применению систем с об-

рушением. В связи с этим предложены следующие варианты систем разработки и их модификации:

- варианты системы разработки с открытым очистным пространством с

выпуском руды на траншейное днище при мощности рудных залежей более 20 м и угле падения более 10—15°. Удельный вес вариантов систем разработки равен 70—75 %. Годовая производительность блока составляет 430 тыс. т/год. На рис. 5 представлен вариант отработки рудной залежи мощностью 20—30 м и угле падения 15 градусов;

- панельно-столбовая система разработки при мощности рудного тела менее 20 м и угле падения рудных тел менее 15°. Удельный вес системы разработки равен 15—20 %. Годовая производительность блока составляет 340 тыс. т/год;

- система разработки с подэтажным обрушением при выемке прибортовых и подкарьерных запасов месторождения мощностью более 30 м. Удельный вес системы разработки составляет 3—5 %.

Технология отработки камерных запасов при выпуске руды через траншейное днище без захода в людей в выработанное пространство допускает частичное обрушение пород кровли. На основании расчетов, выполненных для определения соотношения длины пролетов камер по падению и простиранию рудных залежей при показателе устойчивости пород всяческого бока 15, установлено, что при длине камеры по простиранию 60—85 м максимальная ее ширина по падению составляет 40—48 м. При необходимости для повышения устойчивости кровли оставляются временные внутриблоковые целики.

При панельно-столбовой системе разработки, где в очистном пространстве работают люди, поддержание непосредственной кровли осуществляется столбчатыми целиками и штанговой крепью. Порода от проходки выработок складировается в отработанных камерах.

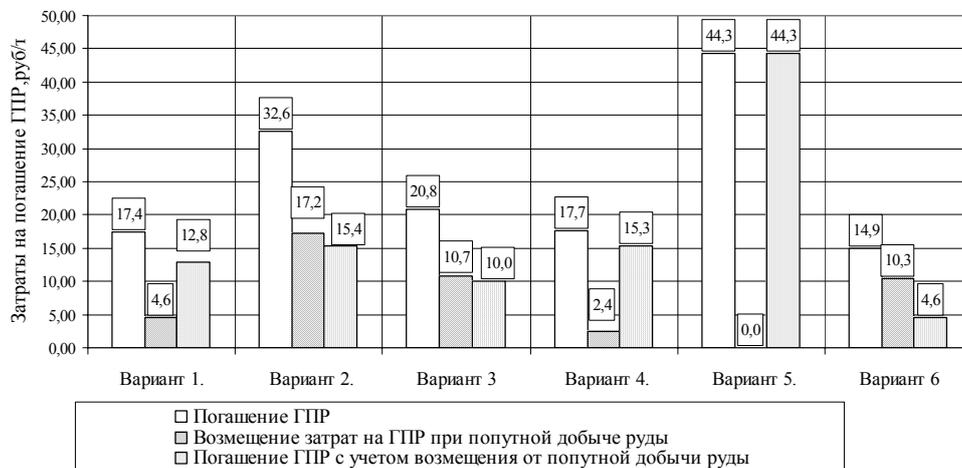
Исходя из необходимости размещения в междукламерном целике нарезных выработок и принимая во внимание сейсмическое действие взрывов при отбойке, рекомендуется в интервалах глубин 100—350 м принять их ширину: для междукламерных целиков  $a_{ц} = 15 — 25$  м (коэффициент запаса  $K_3 = 1,5$ ), для междуэтажных и внутриблоковых целиков  $a_{ц} = 5 — 15$  м ( $K_3 = 1$ ). Следует предусмотреть проходку доставочных ортов в пределах междукламерных целиков на максимальном удалении от формируемой плоскости обнажения со стороны отработанного пространства. Технология отработки запасов отдельно расположенных рудных залежей при ограниченной горизонтальной площади в плане и разделенных безрудными зонами, горизонтальная площадь которых в плане составляет не менее 70 %, позволяет кроме рудных, использовать породные целики (рис. 4).

В результате расчета показателей извлечения полезного ископаемого из недр и удельного веса применяемых систем разработки получены следующие значения потерь и разубоживания руды по месторождению (без учета последующей отработки целиков):

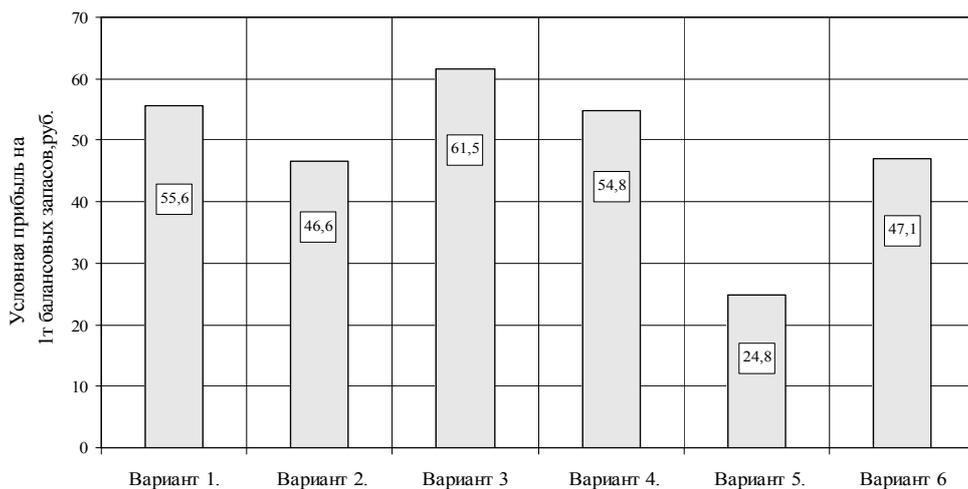
- потери руды — 28,2 %;
- разубоживание руды — 16,9 %.

Производительность рудника, определенная по горным возможностям, может составлять 1700 тыс.т/год. Минимальная высота вскрываемого участка месторождения на первом этапе (+350 ÷ +200 м) близка к нормативной. Минимальный срок существования рудника в сложных горно-геологических условиях при общих запасах руды 55,7 млн т и производительности 1,7 млн т/год составляет 32 — 34 года и соответствует нормативному.





**Рис. 6. Структура погашения ГПП с учетом возмещения от попутной добычи руды**



**Рис. 7. Диаграмма экономической эффективности систем разработки**

блока по два на каждом фланге обрабатываемого участка месторождения. Количество очистных блоков в одновременной работе зависит от числа ПДМ, работающих в независимой панели (следовательно, от числа доставочных выработок на одну траншею). При работе в блоке 2 ПДМ его производительность может быть увеличена в 1,5 — 2 раза.

Для всех вариантов систем разработки предусматривается использование самоходного бурового и доставочного оборудования. Необходимый расход воздуха для проветривания рудника при этом составил 260 м<sup>3</sup>/с.

На начальной стадии отработку Ньюрпахкского месторождения целесообразно осуществлять в восточной его части в разрезах 10 ÷ 18 м до от-

метки +200 м (1 этап вскрытия). Это связано с тем, что в западной части Ньюоркпахкского карьера добычные работы продолжаются, и отработка подкарьерных и прибортовых запасов месторождения в настоящее время не может осуществляться.

Первый разрезной блок отрабатывается в центре участка шахтного поля независимого от открытых горных работ между 13 и 14 разрезами на верхнем рудном теле № 7. Затем отрабатываются два смежных блока. После отработки первого разрезного и смежных блоков рудного тела № 7 с отставанием на 100 м последовательно отрабатываются разрезные блоки в нижележащих рудных телах.

При наличии между рудными телами породных прослоев мощностью 6 м и менее осуществляется совместная отработка залежей с выпуском руды на одно траншейное днище. Выпуск руды из погрузочных заездов осуществляется с оставлением рудного вала в траншеях для снижения разлета кусков руды, повышения устойчивости кровли камеры и качества дробления. Протяженность рудного вала по простиранию рудного тела равна расстоянию между погрузочными заездами.

Сравнительная технико-экономическая оценка вариантов систем разработки проводилась по совокупности критериев: расходу и себестоимости ГПР, погашению ГПР, себестоимости добычи руды и прибыли на 1 т погашенных балансовых запасов. Здесь следует отметить, что стоимость и выход концентрата, содержание в нем полезного компонента приняты по укрупненным данным работы обогатительных фабрик ОАО «Апатит». Поэтому прибыль следует считать условной. Но для сопоставления эффективности систем разработки и ус-

тановления тенденций этот критерий вполне пригоден.

Оценивались следующие варианты систем разработки:

Вариант 1. Система разработки с открытым очистным пространством при выпуске руды на траншейное днище. Мощность рудного тела более 20 м, угол падения 30—50°.

Вариант 2. Система разработки с открытым очистным пространством при выпуске руды на траншейное днище. Мощность рудного тела 15—20 м, угол падения 10—30°.

Вариант 3. Система разработки с открытым очистным пространством при выпуске руды на траншейное днище. Мощность рудного тела более 30 м, угол падения 0—45°.

Вариант 4. Система разработки с открытым очистным пространством при выпуске руды на траншейное днище. Мощность рудного тела 20—30 м, угол падения 10—20°.

Вариант 5. Система разработки с открытым очистным пространством при выпуске руды на траншейное днище. Мощность рудного тела 8—20 м, угол падения 0—10°.

Вариант 6. Панельно-столбовая система разработки. Мощность рудного тела 8—20 м, угол падения 0—15°.

При анализе выявлено и оценено влияние конструктивных особенностей разработанных вариантов систем разработки на себестоимость добычи руды. Основное различие показателей себестоимости по вариантам обусловлено затратами по статье «Погашение ГПР» и возмещением от попутной добычи руды. Результаты анализа приведены на рис. 6.

Результаты оценки эффективности вариантов технологии по критерию условной прибыли на 1 т погашенных балансовых запасов приведены на рис. 7.

В результате расчетов установлено, что варианты систем разработки с открытым очистным пространством для различных горно-геологических условий близки по всем статьям калькуляции, за исключением статьи «Погашение ГПР». Самая высокая себестоимость и минимальная условная прибыль соответствует варианту системы разработки с открытым очистным пространством для пологих маломощных участков месторождения.

Для этого варианта системы разработки практически отсутствует возмещение затрат от попутной добычи руды при проходке выработок.

На участках месторождения с такими горно-геологическими условиями применение панельно-столбовой системы обеспечивает более высокие показатели эффективности и полноты использования недр. Условная прибыль при этом выше на 89 %. Для остальных участков рекомендуются вариации системы с открытым очистным пространством и выпуском руды на траншейное днище. Себестоимость по этим вариантам для различных горно-геологических условий участков месторождения отличается на 11—19 %, а условная прибыль — на 15—25 %. **ИТАБ**

#### **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

---

*Демидов Юрий Васильевич* — доктор технических наук, профессор, советник генерального директора, e-mail: jievleva@apatit.com,

*Звонарь Андрей Юрьевич* — технический директор, главный инженер, e-mail: jievleva@apatit.com, ОАО «Апатит»,

*Леонтьев Анатолий Александрович* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: root@goi.kolasc.net.ru,

*Едигарьев Валерий Георгиевич* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: root@goi.kolasc.net.ru,

Горный институт, Кольский научный центр РАН.



#### **АРГО И ЖАРГОН**

---



**РОМАШКА** — две полумуфты соединенные полосками конвейерной ленты.

**РУКОЯТКА** — место у ствола, откуда подаются сигналы на подъемную машину, наверное, в стародавние времена действительно управляли рукояткой.

**РУКОЯТЧИЦА** — стволовой поверхности, обычно женщина. Она же **СИГНАЛИСТКА, ТЁЩА**.

**РЫЦАРЬ** — малая шестерня в редукторе, от искаженного «ритцель».

**СВИСТОК** — взрывник.

**СИГАРА** — редуктор СП-202 с двигателем.

**СИКАМА** — машина для крепления ЖБ штангами, перевозки различных грузов и т.д.

**СЛОНЫ** — ГРОЗЫ.

**СМЕРТНИКИ** — проходчики КПВ

**СМЕТАННИКИ** — горноспасатели ВГСЧ

**СОБАКА** — лесогон. Он же ГРП по доставке материалов.