

На правах рукописи

Ивашов Николай Александрович

**ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ВСКРЫТИЯ ЗАПАСОВ
ЗА КОНТУРАМИ КАРЬЕРОВ ПРИ
КОМБИНИРОВАННОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Специальность 25.00.21 – Теоретические основы
проектирования горнотехнических систем**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Магнитогорск
2007**

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Магнитогорский
государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Калмыков Вячеслав Николаевич

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Зубков Альберт Васильевич

кандидат технических наук
Осинцев Валерий Андреевич

Ведущая организация – **ОАО «Уралгипроруда».**

Защита диссертации состоится «29» мая 2007 г. в 14⁰⁰ час.
на заседании диссертационного совета Д 212.111.02 при ГОУ ВПО
«Магнитогорский государственный технический университет
им. Г.И. Носова» по адресу: 455000, Челябинская область,
г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38, малый актовый зал.
Факс (3519) 23-57-60, 29-84-26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова».

Автореферат разослан «27» апреля 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

О.Е. Горлова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В результате освоения крутопадающих месторождений открытым способом остаются запасы, расположенные за предельными контурами карьеров, доработка которых более экономична подземным способом. Анализ практики показывает, что наибольшее число рудников, осуществляющих освоение месторождений комбинированным способом, приходится на предприятия по разработке руд цветных металлов – более 60 %. При этом 60-65 % рудников осуществляют отработку запасов, находящихся ниже отметки дна карьера, 15-18 % – в бортах карьеров и около 25 % – удаленных от карьера, отдельно расположенных залежей или участков месторождений. Но во всех случаях эффективность освоения запасов во многом зависит от правильного выбора способа и системы вскрытия залежей за предельным контуром карьера.

В отечественной практике освоения месторождений комбинированным способом наибольшее распространение получили традиционные способы вскрытия таких запасов с земной поверхности, характеризующиеся большими объемами работ и длительными сроками строительства рудников. Только в последнее время стали использовать в качестве рудовыдачной или вспомогательной вскрывающей выработки карьерные съезды. Использование карьерного пространства для вскрытия залежей за контуром карьера позволяет в полной мере реализовать преимущества комбинированной геотехнологии.

Создание единой системы вскрытия и подготовки запасов на различных этапах развития открытых и подземных работ, увязанных во времени и в пространстве, должно стать основой проектирования комбинированной разработки. При этом карьерные транспортные системы и сам карьер целесообразно рассматривать как вскрывающие выработки для запасов, подлежащих подземной отработке, а вскрывающие подземные выработки могут быть использованы для вскрытия глубоких горизонтов карьера, что позволяет существенно снизить капитальные и эксплуатационные расходы предприятий.

Разработка типовых систем и классификация способов вскрытия запасов за предельным контуром карьера для условий комбинированной отработки месторождений с обоснованием параметров и определением области эффективного применения каждого представляет весьма актуальную задачу.

Целью работы является изыскание рациональных способов вскрытия запасов за предельным контуром карьера при освоении месторождений комбинированной геотехнологией, обеспечивающих снижение капитальных и эксплуатационных затрат, а также сокращение сроков ввода подземного рудника в эксплуатацию.

Идея работы заключается в обосновании путей снижения капитальных и эксплуатационных затрат, сокращении срока строительства подземного рудника за счет различных способов использования карьерного пространства для вскрытия запасов за предельными контурами карьеров.

Объект исследований – запасы за предельными контурами карьеров, подлежащие отработке подземным и открыто-подземным способами.

Предмет исследований – способы и системы вскрытия законтурных запасов и обоснование области их рационального применения. Способ вскрытия определяет тип, число и назначение вскрывающих выработок, а система

вскрытия – последовательность и порядок проведения вскрывающих выработок, определенные во времени и в пространстве.

Основными задачами исследования являются:

- обобщение опыта вскрытия и подготовки месторождений, отработываемых комбинированным способом;
- анализ существующих тенденций и совершенствование методик выбора способов вскрытия месторождений;
- разработка типовых систем и классификация способов вскрытия контурных запасов месторождений, осваиваемых комбинированными способами;
- обоснование методики определения рациональных параметров вскрытия запасов за предельным контуром карьеров;
- разработка рекомендаций и технико-экономическая оценка предлагаемых проектных решений.

Научные положения, выносимые на защиту.

1. Выбор рационального варианта вскрытия запасов за контуром карьера определяется производственной мощностью подземного рудника, глубиной карьера, подземных откаточных горизонтов и удаленностью залежей от контура карьера и не зависит от вида и ценности полезного ископаемого.

2. При расположении запасов в бортах карьера глубиной до 400 м вскрытие их автомобильным уклоном с поверхности предпочтительно при глубине расположения запасов от поверхности до 200-250 м и годовой производительности рудника до 1 млн.т. При большей глубине и производительности в случае удаления запасов от поверхности откоса борта на расстояние менее 5-кратной глубины карьера целесообразно вскрытие штольнями из карьера, при большем удалении – вертикальными стволами с поверхности.

3. При глубине расположения запасов ниже дна карьера до 200 м более экономичным является их вскрытие из карьерного пространства с помощью штолен и наклонных съездов или стволов, при большей глубине распространения запасов предпочтителен традиционный способ вскрытия посредством вертикальных стволов с поверхности.

4. При традиционном способе вскрытия вертикальными стволами с поверхности организация горно-капитальных работ по строительству подземного рудника из карьерного пространства позволяет сократить сроки строительства на 1-3 года и получить дополнительный доход в размере 7-9 % за счет совмещения работ по сооружению подземных горизонтов и проходке стволов.

Научная новизна:

- методика выбора при проектировании способа и системы вскрытия запасов, расположенных за предельным контуром карьера, заключающаяся в оценке целесообразности использования карьерного пространства в качестве основной или вспомогательной вскрывающей выработки;

- области рационального использования карьерного пространства для целей вскрытия и подготовки приконтурных запасов и строительства подземного рудника;

- классификация способов вскрытия запасов за предельным контуром карьеров по признаку использования карьерного пространства для вскрытия и освоения дорабатываемых запасов.

Личный вклад автора состоит в:

- анализе и обобщении теории и практики вскрытия запасов за предельными контурами карьеров;
- разработке способов вскрытия законтурных запасов при комбинированной геотехнологии;
- разработке экономико-математических моделей для оценки эффективности способов вскрытия;
- обосновании областей применения способов вскрытия с использованием карьерного пространства;
- разработке проектов по освоению законтурных запасов медноколчеданных месторождений Южного Урала.

Практическое значение состоит в разработке вариантов вскрытия запасов за предельными контурами карьеров, обосновании параметров и области их применения, создании программного комплекса, позволяющего рассчитывать технико-экономические показатели вариантов вскрытия.

Достоверность научных положений, выводов и результатов обеспечивается представительностью и надежностью исходных данных, применением апробированных методик моделирования и эмпирических зависимостей, сопоставимостью результатов исследований с данными проектных организаций и горных предприятий.

Методы исследований. В работе использован комплекс методов исследований, включающий анализ и обобщение отечественного и зарубежного опыта вскрытия запасов за предельными контурами карьеров, методы проектирования и технико-экономической оценки проектных решений, экономико-математическое моделирование вариантов вскрытия, технико-экономические расчеты по обоснованию проектных решений и их внедрения, статистическую обработку результатов расчетов.

Реализация рекомендаций: результаты исследований использованы при разработке проектов освоения месторождений: Султановское, Тернерское, Юбилейное; внедрены в учебные курсы высшего профессионального образования «Проектирование рудников», «Вскрытие и подготовка рудных месторождений» для специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых».

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на международных научно-технических конференциях «Геомеханика в горном деле» (Екатеринбург, 2000), «Неделя горняка» (Москва, 2003, 2004, 2005, 2007), «Комбинированная геотехнология: развитие способов добычи и безопасность горных работ» (Магнитогорск - Сибай, 2003), ежегодных научно-технических конференциях по итогам НИР (Магнитогорск: МГТУ), научно-технических совещаниях горнодобывающих предприятий «УГМК-Холдинг».

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 9 работах.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, библиографического списка из 96 наименований и содержит 166 страниц машинописного текста, 57 рисунков.

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» на кафедре подземной разработки месторождений полезных ископаемых.

Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры ПРМПИ МГТУ и отдела теории проектирования ИПКОН РАН, а также специалистам «УГМК-Холдинг» за оказанные консультации и помощь в проведении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Исследованию вопросов вскрытия и подготовки месторождений при подземном и комбинированном способах разработки посвящены работы М.И. Агошкова, Д.М. Бронникова, К.Н. Трубецкого, Д.Р. Каплунова, А.И. Арсентьева, А.С. Воронюка, В.А. Гребенюка, Ю.В. Демидова, В.Р. Именитова, В.Н. Калмыкова, А.С. Малахова, М.В. Рыльниковой, Н.А. Старикова, В.Д. Титова, В.А. Шестакова, В.А. Щелканова и др. В этих работах сформулированы основные принципы выбора рациональных способов вскрытия, дана методика расчета параметров вскрытия, разработаны классификации, упрощающие процедуру выбора рациональных вариантов и предложены методики их экономической оценки. Показано, что технические решения по вскрытию месторождений определяют объемы капитальных вложений при строительстве рудника и величину эксплуатационных затрат на стадии освоения запасов, безопасность и эффективность горных работ. Отмечено, что предпочтительно применение комплексных схем вскрытия с выдачей горной массы из карьера и шахты по общим транспортным выработкам. Указано, что степень использования выработанного пространства и выработок карьера для вскрытия, подготовки и отработки запасов переходной зоны является основным классификационным признаком технологических схем перехода от открытых к подземным работам. Показано, что применение традиционных способов вскрытия с поверхности без использования карьерного пространства характеризуется увеличенными объемами капитальных работ, повышенными сроками строительства рудников вследствие увеличенной зоны геомеханического влияния карьера, необходимости размещения вскрывающих выработок в неблагоприятных местах, из-за занятости территории объектами открытых рудников, а также последовательного порядка сооружения вскрывающих выработок.

Эти недостатки могут быть устранены на стадии комплексного проектирования открытых, открыто-подземных и подземных работ путем увязки проектных решений по способам разработки, в том числе и в части размещения вскрывающих выработок с учетом перспектив развития работ в карьере. Добиться значительного снижения затрат и сроков строительства невозможно при традиционных подходах к выбору варианта вскрытия. Использование карьера в качестве вскрывающей выработки позволяет существенно повысить эффективность комбинированной разработки.

Такой опыт имеется как в отечественной, так и в зарубежной практике. Карьер используется в качестве рудовыдачной или вспомогательной вскрывающей выработки, а также вспомогательной на стадии строительства подземного рудника.

Для определения рациональных вариантов вскрытия запасов за контуром карьера целесообразно их разделять относительно расположения от контура карьера на приконтурные и удаленные от карьера. К приконтурным запасам относятся рудные участки, непосредственно прилегающие к границам контура карьера или залегающие в непосредственной близости от них. К удаленным запасам относятся рудные участки, не имеющие прямого выхода в карьерное пространство и находящиеся за пределами геомеханического влияния карьерной выемки. В свою очередь, приконтурные запасы разделяются на прибортовые и придонные, а удаленные от карьера – на запасы, расположенные выше и ниже уровня его дна.

Использование карьера в качестве вскрывающей выработки предполагает сооружение в нем перегрузочных узлов, размещение вентиляционных установок, поддержание карьерных дорог и коммуникаций, что зачастую при большой глубине карьера требует оставления в качестве охранных целиков части прикарьерных запасов. В связи с этим использование глубоких карьеров в качестве рудовыдачной выработки не всегда бывает оправданным, вследствие необходимости длительного поддержания бортов карьера на время доработки запасов подземным способом и высоких затрат на транспортирование рудной массы по карьерным съездам. Поэтому использование пространства глубоких карьеров для целей вскрытия и выдачи руды ограничивается чаще всего периодом совмещения подземных и открытых работ, а в качестве вспомогательной – временем строительства подземных рудников.

Имеется также большой опыт использования карьерного пространства для размещения вспомогательных подземных выработок. Как правило, из карьера проводятся штольни, наклонные съезды, с помощью которых производится доставка материалов, оборудования в шахту, подготовка блоков к очистной выемке, подача свежего и выброс загрязненного воздуха. Использование карьерного пространства для транспортирования руды из шахты существенно изменяет технологическую схему и, как правило, усложняет ее вследствие необходимости устройства перегрузочных пунктов, усреднительных складов в карьере. При этом наибольшее распространение получила комбинация карьерного и подземного автомобильного транспорта, хотя есть случаи применения шахтного рельсового транспорта в комплексе с карьерным автомобильным.

На основании анализа применяемых способов вскрытия при комбинированной разработке месторождений для упрощения выбора при проектировании рационального варианта предложено классифицировать способы вскрытия запасов за контурами карьеров по признаку использования карьерного пространства на 4 класса (табл.). Классы делятся на группы по типу главной подземной вскрывающей выработки.

В связи с многообразием и специфичностью горно-геологических и горнотехнических условий месторождений, осваиваемых комбинированным способом, для выбора предпочтительного варианта согласно предложенной классификации были разработаны типовые системы вскрытия приконтурных залежей в бортах и в основании карьера (рис.1) и удаленных от карьера запасов выше и ниже его дна (рис.2), а также исследованы области их рационального применения в условиях комбинированной геотехнологии.

Таблица

Классификация способов вскрытия запасов за предельным контуром карьера при комбинированной разработке месторождений

Класс	По признаку использования карьерного пространства	По типу подземной вскрывающей выработки	Особенности вариантов вскрытия	Условия применения
I	С использованием карьерного пространства в качестве главной вскрывающей выработки	Стволами или штольнями из карьера, комбинацией выработок	Главные и вспомогательные подземные вскрывающие выработки проводятся из карьера, вспомогательные могут быть пройдены и с поверхности, выдача руды производится через карьер	Освоение запасов ведется с сохранением бортов в устойчивом состоянии (системы разработки с закладкой, открытым очистным пространством)
II	С частичным использованием карьерного пространства	Стволами с поверхности и штольнями из карьера, комбинацией выработок	Подземные вскрывающие выработки проводятся из карьера и с поверхности, часть руды выдается через карьер	Освоение запасов ведется с сохранением бортов в устойчивом состоянии на отдельных участках (системы разработки с закладкой и с обрушением пород)
III	С использованием карьерного пространства для вспомогательных целей	Вспомогательными стволами, штольнями, комбинацией выработок	Главные вскрывающие выработки проходятся с поверхности, вспомогательные – из карьера	То же
IV	Без использования карьерного пространства	Стволами с поверхности	Все вскрывающие выработки проводятся с поверхности, выдача руды осуществляется через подземные выработки	Отработка запасов ведется с обрушением бортов (системы разработки с обрушением)

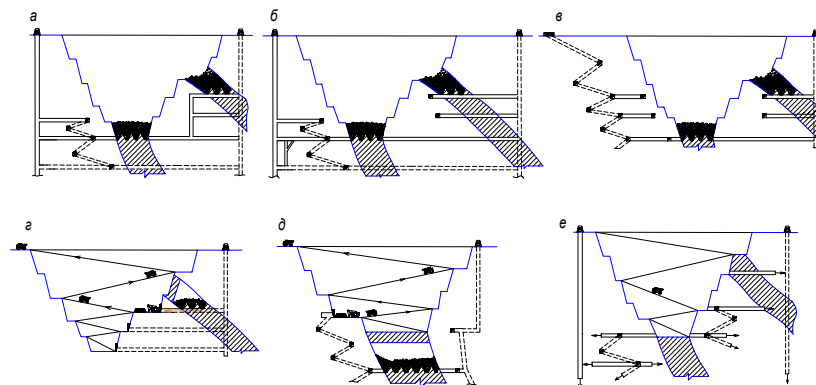


Рис.1. Типовые системы вскрытия приконтурных запасов: а – клетьевым стволом с поверхности; б – скиповым с поверхности; в – наклонным автомобильным стволом; г – штольнями из карьера; д – наклонным стволом из карьера; е – предусматривающая строительство горизонтов из карьера

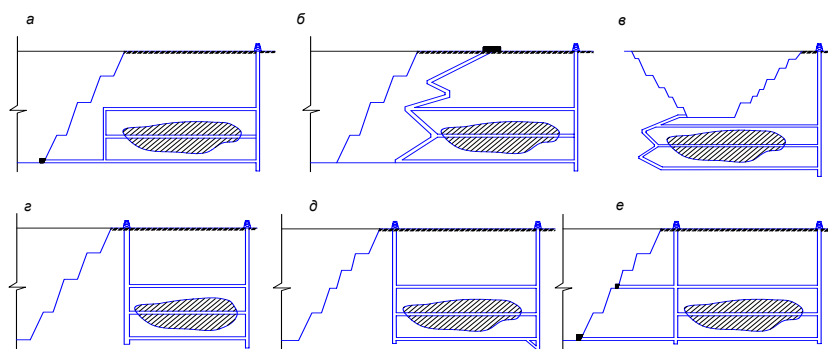


Рис.2. Типовые системы вскрытия удалённых от контура карьера запасов: а – штольной из карьера; б – наклонным стволом с поверхности; в – наклонным стволом из карьера; г – клетьевым стволом с поверхности; д – скиповым стволом с поверхности; е – предусматривающая строительство горизонтов из карьерного пространства

Для определения области рационального применения каждой из типовых систем вскрытия были оценены показатели эффективности в различных горно-геологических условиях. Каждый из вариантов прорабатывался технически и технологически и представлялся к сравнению в своем оптимальном виде. Во всех схемах, предполагающих выдачу рудной массы через карьер, предусмотрены перегрузочные пункты вблизи порталов рудовыдачных штолен или стволов. Рассматривался также вариант выдачи рудной массы на поверхность с помощью подземных автосамосвалов.

В задаче выбора приоритетного способа вскрытия, когда варианты сопоставимы по объему и качеству продукции, срокам оценки и различаются лишь по первоначальным капитальным и годовым эксплуатационным затра-

там, источникам инвестирования средств в строительство подземного рудника, в качестве критериев сравнительной оценки приняты чистый дисконтированный доход (интегральный эффект) и срок окупаемости капитальных вложений. Рациональным из числа возможных считался вариант, обеспечивающий получение за период эксплуатации вскрытых запасов наибольшего дисконтированного дохода при наименьшем сроке окупаемости.

Для сравнительной оценки типовых способов вскрытия запасов за предельным контуром карьеров и определения области их применения были разработаны шесть базовых экономико-математических моделей по вариантам: вскрытие подкарьерных и удаленных от карьера запасов с использованием карьерного пространства (модели 1 и 2); вскрытие запасов за предельным контуром в бортах и основании карьеров без использования карьерного пространства (модели 3, 4 и 5); использование карьерного пространства для строительства горизонтов подземного рудника (модель 6). Методика исследования геотехнологического моделирования предполагала оценку расчетных технико-экономических показателей для различных горно-геологических и горнотехнических условий, конъюнктуры рынка металлов, тенденций ценообразования на горнодобычное и горнотранспортное оборудование.

В связи с многообразием горно-геологических условий конкретных месторождений, осваиваемых комбинированным способом, в качестве объекта исследований было принято месторождение с большой глубиной распространения, отрабатываемое в верхней части карьером, в нижней – подземным рудником. Рассматривались варианты с расположением приконтурных запасов в бортах карьера, в донной части, а также удаленных от карьера, находящихся выше и ниже уровня его дна.

В общем виде экономико-математическая модель расчета ЧДД ($\mathcal{Z}_t^{ин}$) может быть представлена выражением

$$\mathcal{Z}_t^{ин} = \sum_{t=1}^T (R_t - K_t - C_t^{эк} + M_t - C_t^д - H_t) \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \quad (1)$$

где T – срок существования рудника, включающий сроки строительства рудника, находился построением календарного графика или по эмпирическим зависимостям, годы;

R_t – годовая выручка от реализации добытой рудной массы, определялась по известным зависимостям, учитывающим ценность полезного ископаемого, показатели извлечения металлов при добыче и переработке рудной массы, р.;

K_t – годовые капитальные вложения на вскрытие дорабатываемых запасов месторождения, включая затраты на строительство рудника и ввод новых горизонтов в процессе эксплуатации месторождения. В расчетах учитывались вложения на сооружение горных вскрывающих выработок, поверхностных сооружений, приобретение подъемного и транспортного оборудования, сооружение перегрузочного узла. Распределение вложений по годам строительства проводилось согласно календарному плану строительства, р.;

C_t^d – годовые эксплуатационные затраты на добычу руды подземным или открыто-подземным способами, включая затраты по технологическим процессам добычи. Принимались по данным практики рудников в зависимости от производственной мощности рудника, принятой системы разработки и глубины горных работ, р.;

M_t – сумма годовых амортизационных отчислений, рассчитываемых для поверхностных зданий и сооружений и горных выработок по потонной ставке, а для оборудования – по нормам амортизаций, р.;

$C_t^{\text{экс}}$ – годовые эксплуатационные расходы горного предприятия по системе вскрытия: на транспорт, дробление и подъем рудной массы, водоотлив, рудоперепуск, вентиляцию, поддержание выработок, содержание автодорог и прочие расходы, р.;

E – норма дисконта, доли ед.;

H_t – годовые налоговые отчисления и иные обязательные финансовые платежи, включающие налоги на прибыль, имущество, добавленную стоимость, а также в местные бюджеты, р.

Для расчетов ЧДД по каждому варианту вскрытия были получены обобщающие выражения, учитывающие специфику систем вскрытия.

В качестве примера приведено выражение для оценки ЧДД в модели 1:

$$\begin{aligned} \mathfrak{Z}_t^{\text{ИН}} = \sum_{t=0}^T & d \cdot A_r (1-R) \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot \zeta - \\ & - \left[\frac{A_r \cdot K_{\text{нер}} \left(t_{\text{п}}^6 + \frac{120 \cdot H_r}{V_{\text{ср}}^6 \cdot \sin \alpha_{\text{тр}}} + t_{\text{р}}^6 + \frac{2 \cdot L_{\text{ск}}}{V_{\text{ср}}^6} \right) \cdot \zeta_6}{K_{\text{ис.п}} \cdot n_{\text{дн}} \cdot n_{\text{см}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{ис.м}} \cdot q_6} + K_{\text{пл}} + \frac{A_r \cdot \left(t_{\text{п}}^{\text{м}} + \frac{120 \cdot L_{\text{п}}}{V_{\text{ср}}^{\text{м}} \cdot t_{\text{р}}^{\text{м}}} \right) \cdot \zeta_{\text{м}}}{K_{\text{ис.м}} \cdot n_{\text{дн}} \cdot n_{\text{см}}^{\text{п}} \cdot T_{\text{см}}^{\text{п}} \cdot q_{\text{м}}} + K_{\text{шт}} \right] \cdot F_i + \\ & + \frac{n_{\text{ам}} \cdot A_r^2 \cdot K_{\text{нер}} \left(t_{\text{п}}^6 + \frac{120 \cdot H_r}{V_{\text{ср}}^6 \cdot \sin \alpha_{\text{тр}}} + t_{\text{р}}^6 + \frac{2 \cdot L_{\text{ск}}}{V_{\text{ср}}^6} \right) \cdot \frac{H_r \cdot \zeta_6}{\sin \alpha_{\text{тр}}}}{K_{\text{ис.п}} \cdot n_{\text{дн}} \cdot n_{\text{см}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{ис.м}} \cdot q_6^2} + \\ & + \frac{n_{\text{ам}}^{\text{м}} \cdot A_r \cdot \left(t_{\text{п}}^{\text{м}} + \frac{120 \cdot L_{\text{п}}}{V_{\text{ср}}^{\text{м}} \cdot t_{\text{р}}^{\text{м}}} \right) \cdot \zeta_{\text{м}}}{K_{\text{ис.м}} \cdot n_{\text{дн}} \cdot n_{\text{см}}^{\text{п}} \cdot T_{\text{см}}^{\text{п}} \cdot q_{\text{м}}} + n_{\text{ам}}^{\text{экс}} \cdot K_{\text{экс}} + n_{\text{ам}}^{\text{всп}} \cdot K_{\text{всп}} + \frac{K_{\text{шт}} \cdot A_r}{Q} - \\ & - C_d \cdot A_r - (0,00043 \cdot H_r \cdot A_r + 0,005 \cdot A_r + 0001^{-1} \cdot A_r) - 0,16 \cdot A_r \cdot L_{\text{п}} - P \cdot \Pi_{\text{кр}} - H_t \cdot \frac{1}{(1+E)^t}, \end{aligned} \quad (2)$$

где d – коэффициент, определяющий долю затрат по вскрытию и подготовке месторождений в себестоимости добычи подземным способом, доли ед;

ζ_6 , $\zeta_{\text{м}}$ – стоимость автосамосвалов для открытых и подземных работ, р.;

$K_{\text{ис.п}}$, $K_{\text{ис.м}}$ – коэффициенты использования парка машин и машины в течение смены, доли ед;

$L_{п}$, $L_{ск}$ – расстояние транспортирования от места добычи до перегрузочного пункта и от перегрузочного пункта до усреднительного склада, км;

$Ц$ – цена полезного компонента, р./т;

α – содержание полезного компонента в руде, %;

R , ε – коэффициенты, соответственно, разубоживания рудной массы, извлечения при переработке, доли ед.;

$t_{п}^б$, $t_{р}^б$, $t_{п}^м$, $t_{р}^м$ – время на погрузку и разгрузку транспортного средства, соответственно, для карьерных и подземных автосамосвалов, ч;

$V_{ср}^б$, $V_{ср}^м$ – средние скорости движения карьерных и подземных автосамосвалов, км/ч;

F_i – коэффициент распределения инвестиций по годам строительства рудника, доли ед.;

$n_{ам}^б$, $n_{ам}^м$, $n_{ам}^{экс}$, $n_{ам}^{всп}$ – нормы амортизационных отчислений, соответственно, карьерных автосамосвалов, подземных автосамосвалов типа МоАЗ, экскаваторов, вспомогательного оборудования, доли ед.;

C_d – стоимость очистных работ 1 т рудной массы, р./т;

H_r – глубина расположения откаточного горизонта от земной поверхности, м;

$K_{нер}$ – коэффициент неравномерности добычи, доли ед.;

A_r – производственная мощность рудника, т/год;

$K_{шт}$, $K_{пп}$, $K_{экс}$, $K_{всп}$ – капитальные затраты, соответственно, на проведение штолен, оборудование перегрузочного пункта, приобретение экскаваторов и вспомогательного оборудования, р.;

$\alpha_{тр}$ – угол наклона карьерной трассы, град;

$n_{дн}$, $n_{см}$, $T_{см}$, $n_{см}^п$, $T_{см}^п$ – количество рабочих дней в году, смен в сутки, число часов в смену, соответственно для открытых и подземных работ.

Если используется другой вид транспорта руды из очистных забоев до перегрузочного пункта, например железнодорожный, то взамен капитальных, эксплуатационных и амортизационных затрат на автотранспорт вводятся аналогичные затраты по применяемому виду откатки.

При обосновании области применения различных вариантов вскрытия в условиях комбинированной разработки в качестве основных выступают производственные и пространственные параметры: запасы, извлекаемая ценность руд, производительность и срок существования рудника, глубина расположения вскрываемых запасов от дна карьера, поверхности, удаленность от бортов.

Из конструктивных особенностей карьера, определяющих выбор способа вскрытия, наибольшее влияние оказывают: наличие и состояние берм, площадок, удобных для размещения вскрывающих выработок и перегрузочных узлов; вид и трассировка капитальной траншеи; состояние бортов карьера, находящихся в предельном положении на момент вскрытия запасов и в процессе очистных работ; наличие дренажных выработок, их состояние и схемы расположения.

Существенно отражается на эффективности способов вскрытия трассировка капитальной траншеи. Наиболее благоприятный вариант для вскрытия

из карьера – расположение капитального съезда по одному из бортов. В этом случае производство очистных работ не ведет к его подработке, оставлению части запасов в охранных целиках.

В процессе моделирования был исследован достаточно широкий диапазон горно-геологических условий и технологических параметров месторождений и рудников. Так, глубина карьера изменялась от 50 до 400 м, глубина расположения запасов от поверхности – до 750 м, производственная мощность предприятия – от 0,25 до 2 млн. т/год, простирание запасов от дна карьера – до 400 м, удаленность изолированных залежей от борта карьера – до 3 км, условное содержание полезных компонентов – от 3 до 7 %. Срок строительства рудника определялся расчетом согласно производственной мощности рудника по эмпирическим зависимостям или путем календарного планирования, а объемы погашаемых запасов – по сроку существования рудника и производительности. Горизонт дисконтирования – до 15-20 лет.

При геотехнологическом моделировании вскрытия для запасов в бортах карьеров сравнивались показатели по вариантам вскрытия из карьерного пространства (модель 1), с помощью наклонных стволов с поверхности, оборудованных автомобильным подъемом (модель 4), и вертикальных – с клетьевым подъемом (модель 5) и скиповым подъемом (модель 3). Для придонных запасов рассматривались варианты вскрытия штольнями с наклонным съездом или наклонным стволом, проводимыми из карьера, и с помощью выработок с поверхности (модели 3,4,5). В случае вскрытия удаленных залежей от борта или дна карьера дополнительно оценивался вариант использования карьера в качестве вспомогательной выработки для строительства подземных горизонтов (модель 6), если при этом уменьшался срок ввода рудника в эксплуатацию.

Влияние производственной мощности строящегося подземного рудника на ЧДД имеет прямо пропорциональный характер как при традиционных способах вскрытия, так и для вариантов вскрытия из карьерного пространства (рис.3). Аналогичен характер роста дисконтированного эффекта от ценности (содержания полезного компонента) добываемой руды, чем выше содержание, тем выше интенсивность нарастания эффекта. В том случае, если содержание полезного компонента не обеспечивает безубыточность освоения месторождения, то с ростом добываемых объемов наблюдается увеличение убытков. Однако, вид и ценность полезного компонента не влияют на определение приоритетной системы вскрытия.

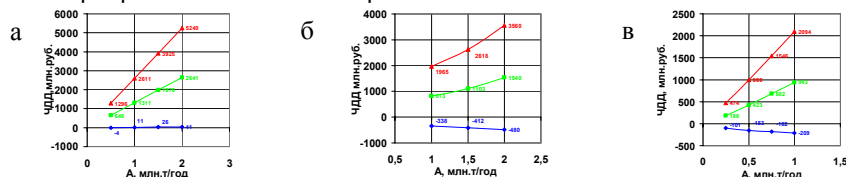


Рис.3. Графики зависимости интегрального дисконтированного эффекта от производственной мощности рудника по вариантам вскрытия: а – рудовыдачным автомобильным уклоном, пройденным из карьера; б – скиповым стволом с поверхности; в – клетьевым рудовыдачным стволом с поверхности при содержании условной меди: — C=3% — C=5% — C=7%

Горно-геологические особенности вскрываемых запасов за предельным контуром карьера имеют определяющее значение при выборе рационального способа вскрытия. В качестве благоприятных горно-геологических факторов для вскрытия и освоения приконтурных запасов следует считать: большие объемы, компактное расположение запасов, отсутствие отдельных изолированных участков, наличие пережимов рудных тел, безрудных целиков, пригодных для размещения там вскрывающих выработок и не требующих оставления барьерных целиков, а неблагоприятных – большую удаленность запасов от контура, выход запасов на предельный контур и растянутость по всему периметру борта, расположение выездных траншей над рудными участками, наличие участков нарушенных пород в бортах карьеров.

Исследования показали, что увеличение глубины расположения прибортовых запасов от поверхности сопровождается снижением интегрального эффекта. Когда запасы располагаются в донной части карьера, то на величину дисконтированной прибыли оказывает существенное влияние глубина карьера и расстояние откаточного горизонта от дна карьера, то есть глубина расположения запасов. Во всех моделях наблюдается снижение прибыли с увеличением глубины горных работ.

На выбор варианта вскрытия оказывает существенное влияние удаленность вскрываемых запасов в бортах карьера от его контура, так как при этом транспортные расходы на откатку руды и затраты на проведение горных работ возрастают. Глубина расположения прибортовых запасов от земной поверхности отрицательно сказывается на величине дисконтированного интегрального эффекта по всем сравниваемым вариантам. Особенно значимо это влияние проявляется в вариантах вскрытия автоуклонами с поверхности, в меньшей степени – при использовании клетьевых и скиповых стволов на больших глубинах, и практически не отражается при вскрытии штольнями из карьера.

На рис.4 видно, что увеличение длины откатки ведет к снижению интегрального эффекта, хотя интенсивность его уменьшения не высокая (1,5-2,0 % на 1 км). Следовательно, запасы в бортах и основании карьера эффективно вскрывать из карьера даже при большой удаленности залежи от карьера.

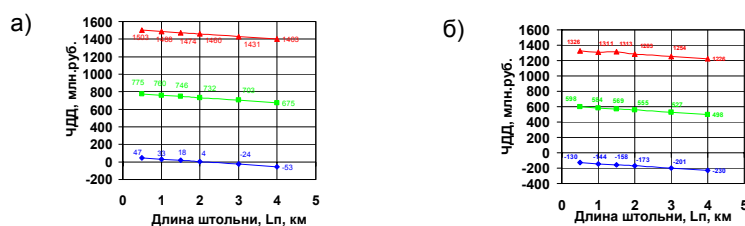


Рис.4. Графики зависимости ЧДД от длины вскрывающей штольни при различной глубине заложения (H_n) и производительности рудника 0,5 млн.т/год: а – $H_n=0,2$ км; б - $H_n=0,4$ км при содержании условной меди в руде: — $C=3\%$ — $C=5\%$ — $C=7\%$

При расположении запасов в бортах карьера глубиной до 400 м вскрытие их автомобильным уклоном с поверхности предпочтительно при глубине

расположения запасов от поверхности до 200-250 м и годовой производительности рудника до 1 млн.т. При большей глубине и производительности в случае удаления запасов от поверхности откоса борта на расстояние менее 5-кратной глубины карьера целесообразно вскрытие штольнями из карьера, при большем удалении – вертикальными стволами с поверхности (рис.5).

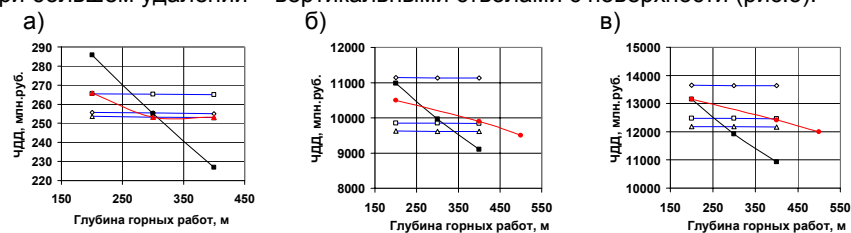


Рис.5. Графики зависимости ЧДД от глубины разработки для вариантов вскрытия штольней из карьера, наклонным съездом с поверхности и вертикальным стволом при содержании полезного компонента $C=5\%$. а – производительность рудника 0,5; б – 1,0; в – 2,0 млн. т/год:

—□— штольня $L=1000$ м —□— штольня $L=2500$ м —▲— клетевой ствол
—▲— штольня $L=3000$ м —■— накл. съезд с пов-ти —●— скиповой ствол

С увеличением глубины работ (>250 м) эффективность вариантов вскрытия автоуклонами снижается, они становятся неконкурентными способами вскрытия из карьера даже при значительном удалении залежи от борта (до 2 км). Кроме глубины работ существенно отражается на области применения автомобильных уклонов производственная мощность горных предприятий. Из установленных зависимостей следует, что с ростом объемов добычи автоуклоны теряют свои преимущества и уступают вариантам вскрытия штольнями, вертикальными клетевыми и скиповыми стволами.

В случае расположения запасов ниже уровня дна карьера экономическая оценка производилась для следующих вариантов вскрытия: автоуклонами с поверхности (модель 4), скиповыми стволами (модель 3), клетевыми стволами (модель 5). Результаты расчетов интегрального эффекта показывают, что использование автоуклонов, проводимых с поверхности, экономично только при неглубоком расположении придонных запасов (до 200-250 м). При больших глубинах этот вариант экономически нецелесообразен (рис.6).

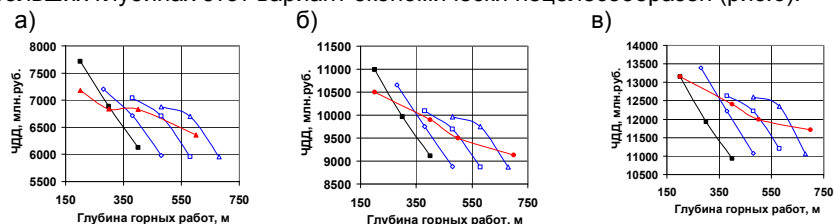


Рис.6. Графики зависимости ЧДД от глубины разработки для вариантов вскрытия наклонным съездом с поверхности, наклонным съездом из карьера и вертикальным стволом при содержании полезного компонента $C=5\%$ и производительности рудника: а – 0,5; б – 1,0; в – 2,0 млн. т/год:

—▲— накл. съезд из карьера $H=200$ м —□— накл. съезд из карьера $H=300$ м —●— скиповой ствол
—▲— накл. съезд из карьера $H=400$ м —■— накл. съезд с пов-ти —▲— клетевой ствол

Исследования показывают, что при глубинах расположения вскрываемых в дне карьера запасов более 200 м, наиболее экономичными являются традиционные способы вскрытия с помощью вертикальных клетьевых и скиповых стволов, проводимых с поверхности, причем с ростом глубины карьера и расположения откаточных горизонтов, преимущество этих способов, по сравнению с вариантами вскрытия из карьера, увеличивается.

Результаты геотехнологического моделирования показали, что использование карьерного пространства позволяет сократить срок строительства рудника на 1-3 года и получить дополнительный доход 7-9 % по сравнению с традиционными способами строительства рудника.

С использованием предлагаемой методики выбора рациональных способов вскрытия запасов, находящихся за предельным контуром карьеров, было проведено конструирование, проработка и оценка вариантов вскрытия законтурных запасов медно-колчеданных месторождений: Султановское, Тарньерское и Юбилейное.

По каждому месторождению рассмотрено по три варианта вскрытия запасов: традиционное вскрытие с поверхности; вскрытие с использованием карьерного пространства как рудовыдачной выработки; вскрытие стволами с поверхности и с использованием карьера для целей строительства горизонта, то есть как вспомогательной выработки. После технической проработки варианты подвергались экономической оценке эффективности инвестиций на освоение месторождений.

Разработка Султановского медно-колчеданного месторождения осуществляется комбинированным способом: верхняя часть – карьером «Центральный», оставшиеся запасы – подземным способом. Производственная мощность подземного рудника 250 тыс. т/год, объем добычи 2573 тыс. т, содержание меди 2,53 %, цинка 0,87 %. Предложенная рациональная схема вскрытия представлена на рис.7.

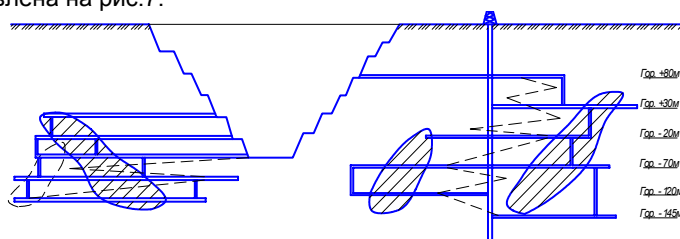


Рис.7. Рациональная схема вскрытия законтурных запасов месторождения Султановское

При использовании карьера в качестве рудовыдачной выработки требуются минимальные капитальные вложения в строительство рудника и обеспечивается максимальная прибыль при сроке окупаемости инвестиций 6 лет, что ведет к росту ЧДД на 7,2 % по сравнению с базовым вариантом вскрытия вертикальными клетьевыми стволами, проводимыми с поверхности.

Экономическая оценка вариантов вскрытия Тарньерского медно-колчеданного месторождения (рис.8) показала, что освоение месторождения при всех вариантах вскрытия не является экономически целесообразным.

Использование традиционного способа вскрытия стволами, проходимыми с поверхности, дает отрицательную текущую стоимость проекта (минус 52,8 млн. р.). Переход на вариант вскрытия из карьера с помощью штолен и наклонных съездов уменьшает объем инвестиций на 15,7 % и позволяет получить положительную чистую текущую стоимость проекта (14,6 млн. р.).

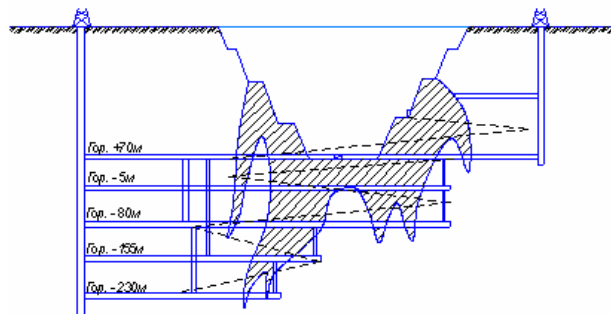


Рис.8. Вскрытие законтурных запасов Тарньерского месторождения

Месторождение «Юбилейное» характеризуется большими объемами запасов, в том числе и за контуром одноименного карьера, которые представлены изолированными массивными крутопадающими рудными телами с большой глубиной распространения. Были проработаны два варианта вскрытия запасов: с использованием карьера для вскрытия части запасов и без его участия (рис.9). Экономическая оценка показала преимущество варианта вскрытия, предусматривающего строительство основных горизонтов +160, +80, 0 м залежей 4 и 5 из карьера и организацию добычных работ ранее на три года по отношению к сроку ввода объектов по основной схеме вскрытия. Организация строительства горизонтов из карьера влечет увеличение инвестиций на 11-13 млн. р. в зависимости от производственной мощности, которые окупаются за счет досрочного ввода подземного рудника в эксплуатацию.

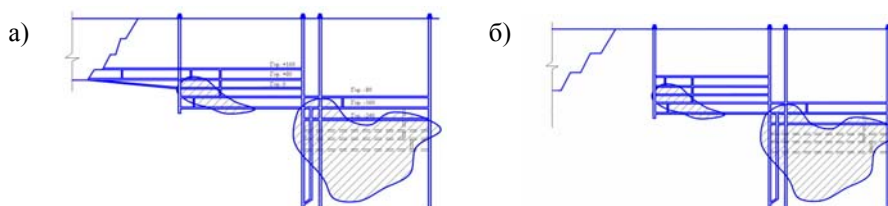


Рис.9. Варианты вскрытия законтурных запасов месторождения «Юбилейное»: а – стволами с поверхности и штольнями и наклонным съездами, проводимыми из карьера для строительства гор.+160;+80;0 м; б – стволами с поверхности

Таким образом, использование разработанных в диссертации рекомендаций для проектирования систем вскрытия месторождений позволяет получить дополнительно чистый дисконтированный доход по сравнению с традиционными вариантами вскрытия с поверхности по Султановскому месторождению – 37,8, Тарньерскому – 13,5 и Юбилейному – 108 млн. р.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научно-практической задачи – разработана методика изыскания рациональных способа и системы вскрытия запасов за предельными контурами карьеров при проектировании комбинированной геотехнологии. Основные выводы заключаются в следующем.

1. При проектировании способов вскрытия запасов за проектными контурами карьеров карьерные съезды и сами карьерные выемки должны рассматриваться в качестве вскрывающих выработок, что позволяет уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты, сократить сроки ввода подземного рудника в эксплуатацию.

2. Проектирование систем вскрытия запасов за предельным контуром карьера следует осуществлять в рамках единого проекта, учитывающего требования освоения запасов на всех этапах развития горных работ в части размещения отвалов на поверхности и внутри карьера, оставления берм и площадок в перспективных местах заложения вскрывающих подземных выработок, рациональной трассировки капитальной траншеи, обеспечения возможности использования технологического комплекса карьера, вспомогательных цехов на стадии подземной разработки.

3. Доказано, что способ вскрытия запасов за предельным контуром карьера зависит преимущественно от глубины карьера, удаленности запасов от поверхности и карьерной выемки и производительности подземного рудника, а вид и ценность полезного ископаемого не оказывают влияние на выбор рационального варианта.

4. Предложена классификация способов вскрытия запасов за проектными контурами карьеров по признаку использования карьерного пространства для вскрытия запасов за его контуром. В соответствии с классификацией разработаны 6 типовых систем вскрытия приконтурных запасов, непосредственно выходящих в борта и основание карьеров, и 6 типовых систем вскрытия удаленных от карьера запасов, расположенных выше и ниже уровня его дна.

5. Дана методика выбора рационального варианта вскрытия запасов за контуром карьера в зависимости от его глубины, месторасположения и удаленности залежей от контура карьерной выемки, а также производительности подземного рудника.

6. Определена предельная глубина вскрытия придонных запасов рудовыдачными автомобильными уклонами, проводимыми из карьера, равная 200 м. При больших глубинах распространения запасов в дне карьера эконо-

мически предпочтительными являются традиционные способы вскрытия с помощью вертикальных клетьевых и скиповых стволов, проводимых с поверхности, причем с ростом глубин расположения откаточных горизонтов и карьера преимущество этих способов, по сравнению с вариантами вскрытия из карьера, увеличивается.

7. Показано, что с ростом глубины карьера наблюдается снижение дисконтированного эффекта (5 % на каждые 80 м глубины карьера) от применения вскрытия автомобильными уклонами из карьера, определяемое увеличением дальности транспортирования рудной массы карьерными самосвалами.

8. Установлено, что при расположении запасов в бортах карьера глубиной до 400 м вскрытие их автомобильным уклоном с поверхности предпочтительно при глубине расположения запасов от поверхности до 200-250 м и годовой производительности рудника до 1 млн.т. При большей глубине и производительности в случае удаления запасов от поверхности откоса борта на расстояние менее 5-кратной глубины карьера целесообразно вскрытие штольнями из карьера, при большем удалении – вертикальными стволами с поверхности

9. Доказано, что использование карьерного пространства для вскрытия запасов за контуром карьеров сокращает срок строительства рудника на 1-3 года и позволяет получить дополнительный доход 7-9 % по сравнению с традиционными способами строительства рудника.

10. Определены рациональные варианты вскрытия законтурных запасов медно-колчеданных месторождений Султановское, Тарньерское и Юбилейное, что позволило получить дополнительно чистый дисконтированный доход по сравнению с традиционными вариантами вскрытия с поверхности соответственно 37,8, 13,5 и 108 млн. р. в ценах 2007 г.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ивашов Н.А. Особенности вскрытия месторождений при освоении их комбинированным способом /В.Н. Калмыков, Н.А. Ивашов //Подземная разработка мощных рудных месторождений: Межвуз. сб. науч. тр. /МГТУ.- Магнитогорск, 1999. - С. 6-10.

2. Ивашов Н.А. Технологические решения по переходу Сибайского рудника на комбинированную технологию освоения запасов /В.Н. Калмыков, М.В. Рыльникова, А.В. Зиннуров, Н.А. Ивашов //Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.:МГТУ. - 2000.- № 8.- С.150-153.

3. Ивашов Н.А. Оценка геомеханического состояния массива Сибайского месторождения при выемке запасов открыто-подземного яруса/ М.В. Рыльникова, Н.А. Ивашов, В.Н. Калмыков //Геомеханика в горном деле- 2000: тезисы доклада Международной конференции /ИГД УРО РАН - Екатеринбург, 2000. -С.32-33.

4. Ивашов Н.А. Оценка устойчивости массива при освоении запасов в основании Сибайского карьера комбинированными горными работами

/В.Н. Калмыков, А.В. Зиннуров, Н.А. Ивашов //Горный информационно-аналитический бюллетень. - М.:МГТУ. -2001. - № 4. - С.156-157.

5. Ивашов Н.А. Вскрытие при комбинированной разработке медно-колчеданных месторождений /М.В. Рыльникова, В.Н. Калмыков, Н.А. Ивашов //Горная промышленность. – 2003. - № 2.- С.38-42.

6. Ivachov N. Combined mining of copper pirite deposits/ M. Rylnikova, V. Kalmykov, N. Ivachov //M. Russian mining. 2003-Vol.4. - P.21-24.

7. Ивашов Н.А. Оценка возможности вовлечения в разработку законтурных запасов разрезов Челябинского бурогоугольного бассейна /Н.А. Ивашов, В.И. Горбунов, И.Т. Слащилин //Освоение месторождений полезных ископаемых: Межвуз. сб. науч. тр. /МГТУ. - Магнитогорск, 2004.- С. 4-10.

8. Ивашов Н.А. Обоснование способа вскрытия запасов за предельным контуром карьера /Н.А. Ивашов //Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. - 2007.- № 1. - С.9-14.

9. Ивашов Н.А. Эффективные схемы вскрытия и комбинированной отработки рудных месторождений /М.В. Рыльникова, В.Н. Калмыков, Н.А. Ивашов //Недропользование: XXI век. - 2007. - № 2. - С.52-54.