

*На правах рукописи*

**ПОРЦЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР КОНСТАНТИНОВИЧ**

**ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА  
ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧИ РУДЫ С  
ПОСЛЕДУЮЩИМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПУСТОТ**

Специальность **25.00.20** – «Геомеханика, разрушение горных пород,  
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Специальность **25.00.22** – «Геотехнология (подземная, открытая, строительная)»

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук

Москва – 2006 г.

Работа выполнена в  
Российском государственном геологоразведочном университете  
Московском государственном открытом университете

**Научный консультант:**

доктор технических наук, профессор,  
**Евгений Александрович Котенко**

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор,  
**Сергей Ефимович Чирков**

доктор технических наук, профессор,  
**Игорь Антонинович Ковалёв**

доктор технических наук, профессор,  
**Марк Еремеевич Певзнер**

**Ведущая организация:**

ФГУП ВНИИПромтехнологии

Защита диссертации состоится 12 апреля 2007 г. в \_\_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.121.08 при Российском государственном геологоразведочном университете по адресу: 117997, Москва, ГСП-7, ул. Миклухо-Маклая, д.23.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Российского государственного геологоразведочного университета

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 200\_\_ г.

Учёный секретарь диссертационного совета,  
профессор, доктор технических наук

**Ю.А.Боровков**

**Актуальность работы.** Горные предприятия с точки зрения изучения, проектирования, организации и управления относятся, как геосистемы, к высшей категории сложности, и только при наличии своевременной и объективной информации о состоянии массива возможно производить динамический многомерный анализ существующего положения, моделирование и прогнозирование будущего развития горных работ, с учётом предупреждения негативных экологических последствий для окружающей среды. До настоящего времени технологии подземной разработки месторождений практически не предусматривают дальнейшее использование преобразованных недр (по аналогии с разделом «рекультивация земель» в проекте открытой разработки месторождения, в проекте подземной разработки должен быть раздел с названием, например, «рекультивация недр»), исключение<sup>1</sup> составляют лишь месторождения природных каменных строительных материалов, гипса, известняка, каменной и калийной соли. Недра, после извлечения из них полезных ископаемых, нарушены пустотами, которые можно и нужно использовать в качестве **подземных сооружений** – завода, атомной электростанции, обогатительной фабрики, хранилища стратегических запасов, могильника бытовых, высокотоксичных, химических и радиоактивных отходов, ёмкости для выщелачивания металла из бедных и забалансовых руд и др. Тем самым решаются две задачи – сохранения недр в новом функциональном качестве и ликвидация отвалов, хвостохранилищ и других экологически вредных объектов на земной поверхности. Всё это потребует дополнительных знаний о горном массиве, особое значение при этом приобретает организационная мера – геомеханическое обоснование выбора технологии освоения недр и природоохранных мер, эколого-экономический прогноз последствий извлечения руды и дальнейшего использования пустот, выработанного пространства.

В настоящей работе рассмотрены мероприятия по совершенствованию технологии освоения **самых сложных в отработке и многочисленных** (составляющих по запасам 70-80%) **сложноструктурных месторождений** цветных, благородных, редких, радиоактивных и рассеянных металлов, включая гидротермальные, поскольку некоторые химические элементы (ртуть, медь, свинец, цинк, молибден, кобальт, уран, мышьяк, сурьма) имеют исключительно гидротермальный генезис, а другие добываются на гидротермальных месторождениях совместно с примесями (вольфрам, олово, висмут, золото, серебро, ниобий, тантал, селен, стронций, кадмий, рений, галлий, германий, барий, титан, ванадий, теллур, платина, палладий). Технологии, опробованные в таких сложных условиях, можно успешно применять и в более благоприятной геологической среде.

С увеличением глубины подземных горных работ и усложнением горно-геологических условий повышается риск ошибки в выборе параметров очистных выработок или самой технологии добычи, поскольку оценка производится на основе геологоразведочных данных, содержащих, главным образом,

---

<sup>1</sup> См. «Основные принципы целевой подготовки подземных горных выработок, перспективных для использования в народном хозяйстве», утверждены Госгортехнадзором СССР 29.12.1984 г. и Госстроем СССР 06.02.1985 г. - Сборник руководящих материалов по охране недр при разработке месторождений полезных ископаемых (Госгортехнадзор СССР). – М.: Недра, 1987.

информацию о морфологии, запасах, качестве полезного ископаемого и лишь ограниченные сведения о геомеханическом состоянии породного массива. Между тем именно в период проектирования выбирается схема организации предприятия, система разработки, способы управления горным давлением, порядок отработки залежи, размеры и местоположение целиков и выработок, скорость подвигания забоев, величины плановых потерь руды и другие параметры, от достоверности которых зависят эффективность и безопасность работ. Выбор этих параметров только на основании геологоразведочных данных зачастую приводит к серьёзным ошибкам и авариям.

Из известных технологий подземной разработки в настоящей работе рассмотрены наиболее широко применяемые и полярные по технико-экономическим показателям системы по классификации акад. М.И.Агошкова – **с открытым очистным пространством, с твердеющей закладкой и с обрушением руды и пород** (этими системами на рудниках обрабатываются около 65% запасов цветных, редких и радиоактивных металлов). Выбранные системы применяются в принципиально различных горно-геологических условиях и для них исключительно актуален выбор оптимальных параметров: пролётов обнажений очистных выработок, прочности и мощности твердеющей закладки, целиков, размеров и расстояния между выпускными отверстиями; а также прогноз местоположения зон концентрации разрушающих напряжений и опасных сдвижений в подработанном горном массиве.

Для очистных блоков, где применяются эти системы разработки, возможны следующие варианты **дальнейшего использования выработанного пространства**: а) в устойчивых камерах – хранилища, например, сельскохозяйственных запасов, продукции оборонного значения, могильники; б) в зонах же обрушения – ёмкости для последующего извлечения выщелачиванием полезного ископаемого из отвалов забалансовой руды (уложенной в провалах, воронках обрушения) и из оставленных целиков.

Сложноструктурные, например, гидротермальные месторождения отличаются вулканическим происхождением, сложной структурой, резкими перепадами устойчивости массива, чередованием зон разгрузки и избыточного горного давления, расчленением массива тектоническими разломами, а также мощной толщей коры выветривания. Сложные горно-геологические условия требуют предварительной оценки (не позже, чем на стадии эксплуатационной разведки) степени нарушенности массива для выбора наиболее эффективной системы разработки и её оптимальных параметров; или, наоборот, - для изменения физико-механических характеристик массива с целью применения в разных блоках унифицированной рациональной системы разработки. Сложные условия также требуют разработки мероприятий по поддержанию очистного пространства, погашению пустот, локализации опасных сдвижений, снижению опорного горного давления, учёту последствий извлечения руды, а также по сохранению и дальнейшему использованию подземных пустот в качестве подземных сооружений – объектов промышленного, оборонного, сельскохозяйственного, культурологического, медицинского назначения, в качестве хранилищ и могильников.

Рациональное использование ресурсов недр невозможно без взаимоувязки и выбора различных технологических мероприятий, но их геомеханическое обоснование возможно на основе расширенных геолого-маркшейдерских данных, обработанных с использованием современных компьютерных технологий по эколого-математическим моделям с учётом принципов переноса известных горно-технологических решений в новую геологическую среду. В этой связи, **совершенствование методик обоснования выбора технологии подземной добычи руды с учётом экологических последствий, на базе геомеханической оценки горного давления и сдвижений пород, устойчивости горного и складчатого массивов, объёмов погашения пустот, и с учётом дальнейшего использования подземного пространства и природоохранных мер - является научно обоснованным техническим, экономическим и технологическим решением**, внедрение которого вносит значительный вклад в развитие экономики страны и в развитие научно-технического прогресса. Представленная работа выполнена по программам НИР и ОКР «Атомная наука и техника» Минатома. Смежные специальности: 05.02.22 – «Организация производства (горная промышленность)» и 25.00.36 – «Геоэкология (по техническим наукам)».

**Целью** работы является геомеханическое обоснование выбора технологии и организации добычных работ на сложноструктурных месторождениях с последующим использованием подземного пространства, на базе оценки экологических последствий, и согласно паспортам двух специальностей в следующих **областях исследований**:

- по паспорту специальности 25.00.20 – «**Геомеханика**, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»: а) напряжённо-деформированное состояние массивов горных пород в естественных условиях и его изменение во времени в связи с проведением горных выработок и эксплуатацией месторождения; б) геомеханическое обеспечение подземной добычи полезных ископаемых, разработка методов управления горным давлением, удароопасностью и сдвижением горных пород;

- по паспорту специальности 25.00.22 – «**Геотехнология** (подземная, открытая, строительная)»: а) создание и научное обоснование технологии разработки техногенных месторождений твёрдых полезных ископаемых; б) разработка теоретических положений и технических решений по использованию подземного пространства; в) научное обоснование параметров горнотехнических сооружений и разработка методов их расчёта.

Области исследований по смежным специальностям:

- по специальности 05.02.22 – «**Организация производства**»: а) разработка научных, методологических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем; б) разработка методов, средств планирования и управления производственными процессами и их результатами; в) разработка методов и средств информатизации и компьютеризации производственных процессов;

- по специальности 25.00.36 – «**Геоэкология**»: а) разработка технических средств, технологий и сооружений для прогноза изменений окружающей среды и её защиты, для локализации и ликвидации негативных природных и техногенных воздействий на окружающую среду; б) разработка технических методов и средств

безопасной утилизации, хранения и захоронения промышленных, токсичных и радиоактивных отходов; в) анализ динамики, механизма, факторов и закономерностей развития опасных природных и техноприродных процессов, прогноз их развития, оценка опасности, превентивные мероприятия по снижению последствий катастрофических последствий.

**Идея** работы заключается в разработке поэтапных организационных мероприятий на основе установленных закономерностей развития геомеханических процессов - для изыскания рациональной технологии освоения месторождений, обеспечивающей безопасность, эффективность и экологичность подземных горных работ с максимальной полнотой извлечения руд и с дальнейшим использованием подземного пространства для хозяйственных нужд.

**Задачи** исследований:

- установление закономерностей перераспределения горного давления и параметров сдвижения горных пород;
- обоснование методов управления состоянием массива – закладкой, обрушением и сооружением опорных конструкций;
- изыскание способов организации эффективной подземной отработки сложноструктурных месторождений с учётом показателя сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке и с учётом последующего использования подземного пространства;
- разработка математических моделей, компьютерных программ для расчёта, моделирования и проектирования параметров систем разработки сложноструктурных месторождений.

**Методы исследований:** экспериментальные и теоретические исследования массива горных пород с использованием методов сопротивления материалов, теории упругости, механики сплошной среды, численного метода граничных элементов, механики подземных сооружений, строительной механики; обобщение научных исследований в области геомеханики с использованием анализа наблюдаемых проявлений горного давления (напряжений, обрушений, сдвижений) на действующих предприятиях, эксперименты на рудниках; аналитическое, численное и физическое моделирование (на натуральных и оптически-активных материалах) процессов сдвижения, обрушения, распределения горного давления; математическое моделирование и аналитические расчёты устойчивости породного и закладочного массивов; эколого-экономическое сравнение эффективности предлагаемых технологических схем добычи; системный анализ последствий добычи с использованием компьютерного моделирования.

**Основные научные положения**, выносимые на защиту:

1. Научно-методологическое обоснование выбора технологии освоения месторождений заключается в оценке **показателя сложности** геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды, в геомеханической оценке **напряжённо-деформированного состояния** горного

массива, в анализе **устойчивых параметров выработок и размеров зон опасных сдвижений** – с целью последующего использования подземного пространства (как в устойчивых выработках, так и в зонах обрушения) **для ликвидации на земной поверхности** отвалов, хвостохранилищ, складов бедной руды и других экологически вредных объектов.

2. Для выбора технологии **последующего выщелачивания металла** из бедной и забалансовой руды, размещённой в зонах обрушения, образовавшихся в результате выпуска из камер отбитой рудной массы под обрушенными породами, - необходимо сначала выбрать рациональный **режим выпуска** и оптимальные **параметры днища**. А затем, после выпуска руды, произвести работы по гидроизоляции пространства, **по улавливанию продуктивных растворов** дренажными скважинами, по созданию ограждающего пневматического барьера - снижающих экологическую нагрузку на окружающую среду.

3. Для выбора технологии добычи руды с погашением выработанного пространства закладкой необходимо оценить **устойчивые размеры потолочин** выработок, созданных из **разнопрочных пачек закладки**, нижняя часть которой является прочной и несущей, а верхняя, основная часть – заполняется сухими или жидкими отходами, измельчённой породой с малым количеством вяжущих веществ. Для локализации, ликвидации негативных техногенных воздействий на окружающую среду и для последующего использования подземного пространства в сложных горно-геологических и геоэкологических условиях - необходимо заблаговременное сооружение пространственных **опорных конструкций** из твердеющей закладки.

4. Методологические принципы обоснования выбора оптимальных технологий освоения месторождений с последующим использованием подземного пространства должны базироваться на поэтапном **геомеханическом анализе** последствий извлечения руды и последующего использования подземного пространства, а также на эколого-экономическом анализе эффективности предлагаемых технологических мер - включающих оценку величин горного давления, сдвижений и деформаций объектов горной охраны, зон концентрации напряжений и разгрузки, обрушений пород, продолжительности устойчивого состояния полостей и необходимых для стабилизации качества **объёмов добычи** разнорудной руды по блокам и забоям, а также экономическую оценку природоохранных мер.

**Внутреннее единство** и логическая завершённость квалификационной научно-исследовательской работы подтверждается следующим:

- в 1 научном положении **заложена база** для геомеханического прогноза состояния горного массива – оценка сложности массива, его НДС, зон опасных сдвижений, параметров устойчивых обнажений (для систем разработки с **открытым** очистным пространством); а также обосновываются варианты дальнейшего использования устойчивых горных выработок;

- во 2 научном положении рассматриваются, применительно к системам разработки с **обрушением руды**, геомеханические параметры днища камер и режима выпуска; также предлагаются варианты использования зон обрушения для выщелачивания металла из забалансовой руды;

- в 3 научном положении обосновываются геомеханические параметры

выработок для систем разработки с **твердеющей закладкой**, предлагаются разнопрочные несущие конструкции, варианты утилизации отходов в закладке;

- в 4 научном положении аргументируется **обобщающая методология** выбора технологии подземной добычи руды на основе поэтапного геомеханического прогноза состояния массива, эколого-математического моделирования и оценки качества добываемых сортов руды.

**Достоверность** научных положений, выводов и рекомендаций подтверждена высокой сходимостью (не менее 70%) аналитических выводов с данными физического моделирования и натурных экспериментов, положительными результатами аналитических и натуральных исследований на уран-молибденовых рудниках Приаргунского и Целинного горно-химических комбинатов; научным обоснованием выявленных закономерностей теориями сопротивления материалов, упругости, ползучести, строительной механики, механики подземных сооружений и сплошной среды, использованием современных компьютерных технологий и опытно-промышленным внедрением технологий разработки месторождений, с подтверждением их экономической эффективности.

**Научная новизна** работы заключается в том, что все предлагаемые организационные мероприятия основываются на установленных геомеханических закономерностях, и оцениваются по эколого-экономическим и математическим моделям:

- прогноз напряжённо-деформированного состояния нарушенного горными работами массива, **отличающийся** тем, что, с целью получения параметров зон концентрации опорного горного давления, - учитываются деформационные и реологические характеристики неоднородной среды, разрывы сплошности, степень ослабления прочности массива, крепление и закладка выработок, длительность обнажений (прикладная компьютерная программа «Напряжения» прошла апробацию и зарегистрирована во Всероссийском научно-техническом центре – ВНТЦ, рег. № 50200401124);

- прогноз параметров возможных сдвижений пород в подработанном массиве, **отличающийся** тем, что, с целью получения деформаций, наклонов и кривизны, - учитываются физико-механические свойства налегающих пород, расположение, объём, конфигурация и размер подземных полостей, ожидаемая форма мульды оседания, наличие тектонических разломов, величины опорного горного давления, скорости процесса сдвижения пород в массиве и по разломам, объём и вид закладки полостей (прикладная компьютерная программа «Сдвижения» прошла апробацию и зарегистрирована в ВНТЦ, рег. № 50200401123);

- прогноз запредельной несущей способности породной кровли, **отличающийся** от известных тем, что, с целью получения устойчивых размеров кровли выработок, - обоснованы критические деформации в плите-потолочине после образования первых пластических шарниров;

- прогноз статической устойчивости подземной полости, **отличающийся** тем, что, с целью определения устойчивых размеров (длины, ширины, высоты)

полости, учитываются: угол наклона бортов, величина горного давления, фактические характеристики среды по каждому боку и кровле полости отдельно;

- выбор параметров днища камер при донном, торцевом выпуске отбитой рудной массы под обрушенными породами, **отличающийся** от известных тем, что, с целью оценки оптимального расстояния между воронками, диаметра выпускного отверстия, а также суммарного предельного объёма извлекаемой из них рудной массы, - подсчитываются значения потерь, разубоживания, экономического эффекта для каждой дискретной дозы выпуска (в любой момент времени), для любой дучки, в том числе и на границе с погашенной камерой, учитывается объём сегмента эллипсоида выпуска ниже уровня выпускных воронок, изменение со временем коэффициента разрыхления руды, увеличение размеров воронки, закономерность распределения металла в блоке (прикладная компьютерная программа «Выпуск» прошла апробацию и зарегистрирована в ВНТЦ, рег. № 50200401126);

- выбор параметров прочности, пролёта и мощности разнопрочного закладочного массива, **отличающийся** тем, что, с целью снижения расходов на закладку при сохранении устойчивости искусственной потолочины, - учитываются слоистость и однородность массива, седиментация и фильтрация, сейсмика взрывов и пригрузка слоёв, продолжительность твердения, критические деформации и запредельная несущая способность плиты-потолочины после образования первых пластических шарниров, установлена закономерность распределения давления верхнего малопрочного слоя разнопрочной закладки на нижний несущий слой (упругое основание) в зависимости от соотношения их модулей деформации, прочностей и стадии деформирования (а.с. СССР № 1475253, прикладная компьютерная программа);

- выбор схемы погашения пустот на руднике, **отличающийся** тем, что, с целью снижения расходов на закладочные работы при обеспечении безопасности объектов горной охраны, - рассчитывается оптимальное соотношение и комбинация объёмов погашения выработок различными видами закладки, с учётом частичной изоляции выработанного пространства, свойств массива и расстояния до объекта горной охраны (прикладная компьютерная программа);

- обоснование **нового** метода управления состоянием окружающей среды путём заблаговременного сооружения в горном массиве пространственных опорных конструкций, с целью выбора оптимальной единой системы разработки и снижения затрат на добычу руды и на последующую эксплуатацию подземных сооружений, за счёт приведения неоднородных дифференцированных участков и зон массива в равноустойчивое состояние (а.с. СССР № 1603885).

**Научное значение** работы заключается в получении новых знаний, разработаны:

1) **показатель сложности** геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке - 1 научное положение;

2) методика прогноза запредельной **несущей способности** слоистой и трещиноватой кровли выработок (математическая модель и компьютерная программа) - 1 научное положение;

3) методика прогноза **напряжённно-деформированного состояния** массива с учётом местоположения выработок в вулканической кальдере (математическая модель и компьютерная программа) - 1 научное положение;

4) методика оценки **статической устойчивости выработки** с вертикальными и с наклонными бортами по новому коэффициенту статической устойчивости - 1 научное положение;

5) методика **статической** оценки **высоты зоны обрушения** пород в камеру, частично заполненную закладкой - 1 научное положение;

6) методика **динамической** оценки **сдвижения** пород в подработанном массиве (математическая модель и компьютерная программа) - 1 научное положение;

7) методика выбора оптимальных **параметров днища и режима выпуска** для систем разработки с обрушением руды и пород (математическая модель и компьютерная программа) - 2 научное положение;

8) методика выбора оптимальных **параметров разнопрочной** твердеющей закладки выработок с учётом нового **коэффициента влияния слоистости и пригрузки веса массива на упругое основание** – для систем разработки с закладкой (математическая модель и компьютерная программа) - 3 научное положение;

9) технологии возведения пространственных **опорных конструкций** в неоднородном массиве для повышения его устойчивости - 3 научное положение;

10) варианты последующего **использования подземного пространства** (как в устойчивых выработках, так и в зонах обрушения) для ликвидации на земной поверхности отвалов, хвостохранилищ, складов бедной руды и других экологически вредных объектов, технология выщелачивания бедных руд в зонах обрушения с улавливанием продуктивного раствора – 1, 2 и 3 научное положение;

11) методика выбора необходимой производительности забоев и блоков – для поддержания **стабильного качества** выдаваемых сортов руды - 4 научное положение;

12) **методология выбора** оптимальных технологий освоения сложноструктурных месторождений с последующим использованием подземного пространства – на основе поэтапного **геомеханического и эколого-экономического анализа** последствий - 4 научное положение.

**Практическое значение** работы состоит в создании, на основе математических моделей, комплекса из шести авторских компьютерных программ (четыре из которых зарегистрированы во ВНТЦ, рег. № 50200401123...50200401126), облегчающих принятие организационных решений и служащих для научного обоснования выбора технологии освоения месторождений на базе геомеханического прогноза состояния недр, безопасности работ, последствий извлечения руды и дальнейшего использования пустот, - включающего комплекс инженерных методов расчёта параметров устойчивости обнажений искусственного и породного массивов, днища камер, режима выпуска руды, напряжений, деформаций и сдвижений; разработаны конструкции опорных сооружений с расчётом их типовых элементов; усовершенствованы технологии рациональной добычи руды системами с открытым очистным пространством, с

твердеющей закладкой, с обрушением руды и пород, а также технологии последующего использования подземного пространства.

**Реализация работы.** Результаты исследований внедрены в практику проектирования институтом ВНИПИпромтехнологии разработки уран-молибденовой группы месторождений «Стрельцовское» в Забайкалье, урановых месторождений «Камышовое», «Восточное» и «Грачёвское» в Северном Казахстане, включены в отраслевую инструкцию по безопасному ведению горных работ и контролю за сдвижением породных массивов в предохранительных зонах шахт Приаргунского горно-химического комбината, в типовые технологические схемы подземной разработки урановых месторождений Минатома (три проекта: нисходящая слоевая система, поэтажно-камерная система – на мощных залежах и на маломощных, со щелевой отбойкой), вошли в монографию, научные статьи и авторские учебные пособия, используемых в процессе обучения студентов в Российском государственном геологоразведочном университете (РГГРУ) и в Московском государственном открытом университете (МГОУ). При опытно-промышленных испытаниях предложенных автором технологических схем достигнута следующая сравнительная экономическая эффективность<sup>2</sup>: по разнопрочной закладке на месторождениях «Стрельцовское» 2 руб./м<sup>3</sup>, что эффективнее базового варианта технологии в 1,2 раза; по пространственно-ориентированным конструкциям на месторождении «Грачёвское» 0,08 руб./м<sup>3</sup>, что эффективнее базового варианта технологии в 1,84 раза; по комбинированному погашению пустот на месторождении «Камышовое» - 14,33 руб./м<sup>3</sup>; по оценке статической устойчивости камер на месторождении «Грачёвское» условный экономический эффект мог бы составить (при внедрении методики) от предотвращения обрушений пород и разубоживания руды – от 0,4 до 4,2 руб./м<sup>3</sup> и от потерь руды от 89 до 180 руб./м<sup>3</sup>; по оценке и выбору технологии добычи руды на глубоких горизонтах месторождения «Восточное» - 5,5 руб./м<sup>3</sup>.

#### **Личный вклад автора:**

- постановка задач и геомеханического подхода к организации освоения месторождений не только с позиций щадящей и эффективной добычи, но и последующего долговременного использования образовавшихся пустот, экологизации горного производства;

- разработка методологических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации разработки месторождений на базе компьютерного моделирования и оптимизации различных вариантов широко применяемых технологий;

- обоснование необходимости создания комплекса методик, позволяющих специалистам предприятий производить организационные мероприятия по подбору вариантов технологий и эффективных параметров горных работ на основе геомеханических, эколого-экономических и математических моделей, с учётом принципа переноса известных горно-технологических решений в новую геологическую среду;

- исследование процессов формирования зон концентрации напряжений, обрушений и сдвижений в неоднородном, нарушенном разломами, трёхмерном

---

<sup>2</sup> В ценах середины и конца 80-х годов XX века.

горном массиве, совершенствование методик расчёта напряжённо-деформированного состояния массива и сдвижений пород;

- исследование магматогенно-метасоматических, гидротермальных месторождений на основе их происхождения из магматического очага, вызывающего разрывы сплошности земной коры (по которым поднимаются рудоформирующие потоки флюидов), обоснование закономерностей, вызывающих обрушения, сдвижения горных пород над подземной полостью;

- разработка организационных и технологических схем погашения очистных выработок разнопрочной твердеющей закладкой, создание методик моделирования и оптимизации параметров устойчивой породной и искусственной кровли и боков выработок, крепи, параметров днища и режима выпуска рудной массы под обрушенными породами;

- разработка нового метода управления состоянием окружающей среды и технологических схем - заблаговременного приведения разнородных участков горного массива в равноустойчивое состояние, расчёт типовых элементов опорных пространственных конструкций;

- разработка на основе математических моделей комплекса прикладных компьютерных программ, позволяющих специалистам предприятий шаг за шагом использовать при выборе параметров технологии добычи руды современные средства обработки информации.

**Апробация работы.** Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на научно-технических советах, семинарах и конференциях во ВНИПИпромтехнологии, на предприятиях ЦГХК и ППГХО, на конференциях РГГРУ, на «Неделях горняка» в МГГУ, на заседаниях: кафедры «Разработка месторождений цветных, редких и радиоактивных металлов» РГГРУ, кафедры «Разработки месторождений полезных ископаемых» и кафедры «Охраны недр и рационального природопользования» МГОУ.

**Области применения.** Разработано геомеханическое обеспечение освоения самых сложных в отработке и многочисленных (составляющих по запасам 70-80%) сложноструктурных месторождений цветных, благородных, редких, радиоактивных и рассеянных металлов, на примере усовершенствования наиболее широко применяемых систем разработки – с открытым очистным пространством, с твердеющей закладкой и с обрушением руды и пород, которыми на рудниках отрабатываются не менее 65% запасов цветных, редких и радиоактивных металлов. Технологии, опробованные в таких сложных условиях, можно успешно применять и в более благоприятной геологической среде – при любом техногенном преобразовании недр, например: добыче руды, подземном строительстве, захоронении отходов.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы: 28 печатных работ (из них более десяти – в рекомендованных ВАК изданиях), включая монографию и учебник, получены два авторских свидетельства на изобретения и четыре свидетельства о регистрации компьютерных программ во ВНИИ (рег. № 50200401123 ... 50200401126); а также составлены 30 учебных пособий, на пять из которых получен гриф УМО МГГУ (рег. № 51-73...51-76 и 51-79/6) и десять из которых зарегистрированы в Федеральном агентстве по образованию (рег. № 5368...5377).

Основные положения диссертации базируются на результатах натуральных исследований, проведённых автором на уран-молибденовых рудниках Приаргунского (Забайкалье) и Целинного (Казахстан) горно-химических комбинатов, на результатах собственных теоретических изысканий в НИЛ-1 Промниипроекта, в Московской государственной геологоразведочной академии, в Московском государственном открытом университете.

**Объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и приложений (в отдельном томе), содержит 258 страниц основного текста, список использованной литературы включает 275 наименований.

Автор выражает глубокую благодарность научному консультанту - профессору, доктору технических наук, академику и первому вице-президенту Академии Горных Наук России Котенко Е.А., признателен сотрудникам ВНИПИпромтехнологии - В.В.Дейнеру, А.И.Мезину, В.Н.Морозову и другим, оказавшим помощь в проведении экспериментов. Представленная работа завершена благодаря поддержке и ценным советам проф., д.т.н. Ю.А.Боровкова, Г.А.Каткова, проф., д.г.-м.н. А.Г.Милютин, Белова С.В.

Основные выводы и рекомендации, полученные в работе, использованы в практике проектирования гидротермальных месторождений уранодобывающей отрасли, на предприятиях ППГХО и ЦГХК, в учебных пособиях Российского государственного геологоразведочного и Московского государственного открытого университетов и в прикладных компьютерных программах, в научных статьях, в монографии «Выбор рациональной технологии добычи руд. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства. Геоэкология» и в учебнике под редакцией проф. А.Г.Милютин - «Экология: геоэкология недропользования» (план издательства «Высшая школа» - I квартал 2007 г).

## **Основное содержание работы**

**Во введении** обосновывается актуальность выбранной темы, формулируются принципы организации щадящей подземной разработки сложноструктурных месторождений, с учётом экологических последствий, на базе геомеханической оценки горного давления и сдвижений пород, устойчивости горного и закладочного массивов, объёмов погашения пустот и природоохранных мер, дальнейшего использования подземного пространства на действующих рудниках и на отработанных месторождениях. Описывается принцип выбора методов воздействия на горный массив, эффективных и безопасных технологий горных работ, на базе применения информационных технологий (комплекса авторских прикладных компьютерных программ) для облегчения принятия управленческих, организационных решений. Обосновывается область научных исследований и перечень совершенствуемых систем подземной разработки рудных месторождений – с открытым очистным пространством, с обрушением руды и пород, с закладкой.

По оценке института ИПКОН РАН в настоящее время и до 2010 г. 20÷30% объёмов подземной добычи цветных металлов составит доля наиболее эффективных камерных систем разработки - с обрушением руды и пород – см.

табл. 1. Кроме того, выпуск отбитой рудной массы под обрушенными породами применяется на добыче апатитов и железа, при открыто-подземном способе добычи с погашением камер под дном карьера породами из отвалов.

Таблица 1

**Доля основных систем разработки на месторождениях  
цветных металлов СНГ (факт на 1995 г. и прогноз ИПКОНА<sup>3</sup> на 2010 г.)**

Тип месторождения	Полезное ископаемое	Системы с открытым пространством	Системы с твердеющей закладкой	Системы с обрушением руды и пород
1. Пластообразные глубокозалегающие месторождения	Никель, кобальт	30-25%	50-20%	4-34%
2. Крутопадающие неглубокие месторождения неправильной формы	Вольфрам, молибден	55-65%	-	28-22%
3. Пласто- и линзообразные крутопадающие месторождения	Свинец, цинк	21-29%	34-32%	35-30%
4. Жильные месторождения	олово	27-43%	нет	34-24%
5. Сложноструктурные	Сурьма Ртуть	78-66% 36-60%	0,5-2,5% 2,5-3%	6-20% 47-28%
<b>В среднем по рудным месторождениям<sup>4</sup></b>		35,9%	8,5%	33,5%

**Примечание.** Первая цифра – удельный вес класса систем разработки на 1995 год, вторая – прогноз на 2010 год.

**В первой главе** проанализирована изученность выбранной темы и вопросов организации оценки состояния недр. Исследуются особенности геологического строения сложноструктурных месторождений, рассматривается, как пример, модель образования гидротермального уран-молибденового Стрельцовского месторождения и урановых месторождений Северного Казахстана. Описываются трудности, возникающие при добыче руд на месторождениях магматогенно-метасоматической генетической группы<sup>5</sup>, их значение (составляют 70-80% по запасам руд цветных, редких и радиоактивных металлов).

По данным МАГАТЭ в 1998 году, при одинаковом среднем содержании урана в руде (0,2-0,3%) и примерно одинаковом соотношении открытых и

<sup>3</sup> Комплексное освоение рудных месторождений: проектирование и технология подземной разработки. Под ред. Д.Р.Каплунова. - М.: изд. ИПКОН РАН, 1998. - 383 с.

<sup>4</sup> Недр России. Том 2. Экология геологической среды. Под ред. Н.В.Межеловского, А.А.Смыслова. – С.-П. - М.: С.-П. Горный институт, Межрегион. центр по геол. картографии, 2002. - 662 с. (с. 307).

<sup>5</sup> Милютин А.Г. Геология. Учебник. – М.: изд. Высшая школа, 2004. – 413 с.

подземных работ, производительность труда в Нигере и в России по количеству урана, добытого на одного сотрудника предприятия, отличается в шесть раз (в Нигере 1,85 т/чел и в России 300 кг/чел). Такая разница отчасти может объясняться отставанием в самой технологии добычи руды, а также неэффективной организационной структурой предприятия, отсутствием мониторинга и прогноза состояния горного массива, низкой оперативностью в принятии управленческих решений при резком изменении ситуации в горных работах. Именно при подземной добыче урана и других редких элементов часто возникают проблемы, связанные с генезисом самого месторождения.

Сложноструктурные месторождения весьма трудны в процессе геологической разведки и при добыче руды. Оруденение на месторождениях приурочено к тектоническим швам различного направления и сочленениям разломов, эти зоны отличаются избыточным горным давлением, интенсивной трещиноватостью пород, высокой контрастностью руды и изменчивостью контура штокверковых и жильных рудных тел. Это приводит к необходимости при выемки руды на различных участках месторождения не только много тратить сил на эксплуатационную доразведку запасов, но и варьировать различными системами разработки, параметрами выработок, применять твердеющую закладку, отказываться от систем с обрушением руды и пород, т.е. увеличивать себестоимость добычи. Такое положение характерно для всех гидротермальных месторождений.

В главе приведена классификация методов прогноза геомеханических преобразований подрабатываемых территорий, описывающая модели сдвижения пород в нарушенном массиве по С.Г.Авершину, А.Г.Акимову, Е.В.Беляеву, В.Н.Земисеву, Г.Кратчу, В.Н.Морозову и многим другим учёным, рассматриваются классификации месторождений по А.Г.Милютину и по Н.П.Лаверову, оцениваются запасы урана в России по типам месторождений. Формулируется концепция напряжённо-деформированного состояния тектонически нарушенного горного массива вблизи камерных и слоевых выработок.

Далее рассматривается классификация методик расчётов прочности искусственной кровли из твердеющей закладки - У.А.Алданбергенова, А.А.Борисова, В.А.Вольхина, Б.П.Дробота, Н.Ф.Замесова, Е.Д.Кочеткова, Т.А.Осиповой, В.Д.Паляя, Е.С.Смелянского, С.Н.Суглобова, М.Н.Цыгалова и многих других неназванных учёных. Анализ методик расчётов показал, что нормативную прочность закладки обычно получают или по результатам физического моделирования или же по расчётам на допустимые напряжения и деформации однородной балки (жёстко заземленной или свободно лежащей на двух опорах), нагруженной собственным весом или весом пород до земной поверхности. В результате для аналогичных условий, например, при нисходящей слоевой выемке значение нормативной прочности потолочины, полученной разными методами, находится в диапазоне от 2 до 10 МПа. Затем в главе рассматриваются известные варианты организации использования твердеющей закладки при добыче руды, исследуются физико-механические характеристики твердеющей закладки и их корреляционные зависимости.

В результате комплексного анализа сформулирована цель и идея работы, задачи и методы исследований. Затем автором обосновывается методология научных исследований темы диссертации: сначала гипотеза, затем моделирование, теоретическое обобщение и, наконец, промышленная проверка.

Далее в главе приводятся основные результаты исследований автора на моделях (из натуральных и оптически-активных материалов) - с соблюдением геометрического, силового и других масштабов моделирования - механизма деформирования и предельной несущей способности искусственной потолочины, опирающейся лишь на неровности боков выработки. Обосновывается механизм нагружения нижней несущей пачки закладки (упругого основания) весом верхней малопрочной пачки – для двухслойной разнопрочной закладки, при этом были получены эмпирические зависимости прочности несущей нижней пачки искусственной потолочины от её параметров и физико-механических характеристик – для упруго-пластического и запредельного деформирования. Также на моделях получена корреляционная зависимость модуля деформации от прочности искусственной потолочины - на упругой и на пластической стадиях её работы.

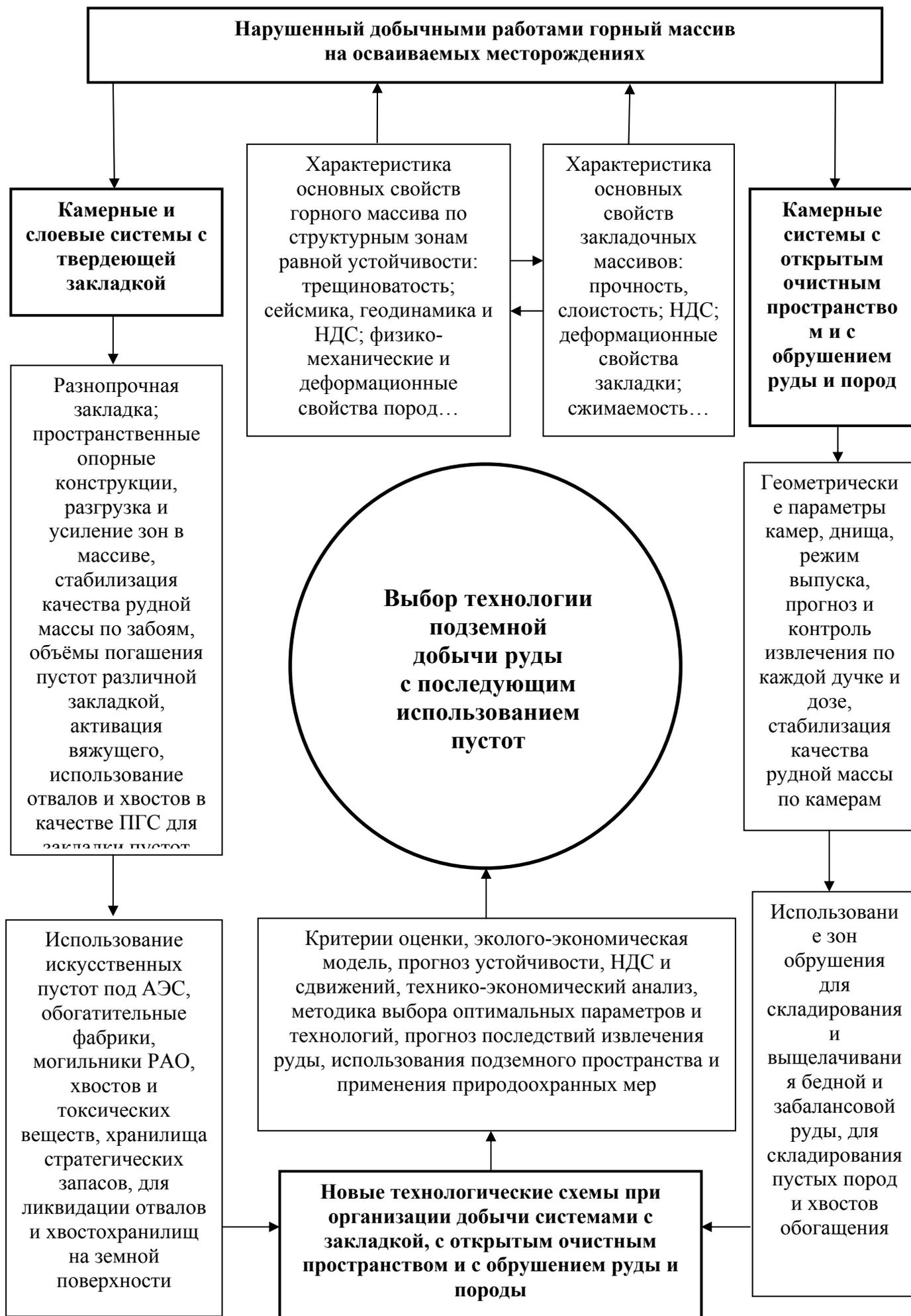
Установлено, что после образования на опорах, а затем и в пролёте первых трещин, модуль деформации потолочины снижается практически вдвое и увеличивается вдвое темп роста величины прогиба. Но потолочина, тем не менее, остаётся устойчивой вплоть до образования в пролёте третьего пластического шарнира, т.е. кровля обладает запредельной устойчивостью, ведь система статически неопределима и есть лишние связи (по теориям сопротивления материалов и строительной механики).

Определён методический подход к установлению нормативной прочности потолочины по предельному состоянию на основе изучения механизма её деформирования на упругой и пластической стадиях работы, с учётом фактической неоднородности массива твердеющей закладки, характера контактов потолочины с боками выработки, напряжённо-деформированного состояния окружающего горного и закладочного массива, механизма передачи нагрузки от пачки к пачке, от слоя к слою.

Разработана структурная схема решения научной задачи диссертации (см. ниже).

**Во второй главе** производится оценка методов прогноза напряжённо-деформированного состояния горного массива, влияющего на организацию добычных работ на руднике. Анализируется механизм возникновения напряженно-деформированного состояния нетронутого горного массива по работам А.В.Пейве, А.И.Суворова, В.Е.Хаина, И.В.Баклашова, В.В.Белоусова, Г.П.Горшкова, И.М. Петухова, И.М.Батугиной, М.А.Иофиса, М.Е.Певзнера, В.Н.Морозова и многих других.

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



Автором обосновывается методология прогноза местоположения зон разрывных нарушений (рудоносных каналов) в вулканических сооружениях месторождений, например, кальдерах, на основе закона взаимодействия масс материи в гравитационном поле, с глубинным объёмным источником магматического возмущения. Величины деформаций по перпендикулярным осям определяются после дифференцирования функций смещений и сравниваются с предельными деформациями для данного типа пород, вызывающими разрыв сплошности массива, а также с нормативными деформациями для объектов горной охраны (здания, сооружения и капитальные горные выработки). Оцениваются методики оценки продолжительности устойчивого состояния подземных полостей, обосновывается применение зависимости Больцмана-Вольтерра-Ержанова, на базе решения уравнения состояния с сингулярным ядром Дюффинга. Приводится авторская методика расчёта главных напряжений в массиве по косвенным признакам, а также инженерный метод оценки напряжений по фактическим вывалам пород Р.А.Ахметгареева, оценивается методика оценки устойчивости целиков и опор М.А.Тлеужанова по трём критериям: по критическим нагрузкам, допустимому сближению кровли-почвы и по предельной жёсткости целика (критерий удароопасности целиков).

Далее исследуются методики расчёта - М.М.Протодьяконова, В.Д.Слесарева, Г.Н.Кузнецова, Г.Л.Фисенко, Г.В.Мещерякова, С.В.Ветрова и многих других - устойчивых обнажений монолитной, слоистой и трещиноватой породной кровли (для камерных и слоевых очистных выработок). Обосновывается авторская методика оценки устойчивости породной кровли с учётом предельного деформирования и прогиба потолочины. Приводится, на основе работ С.Крауча, А.Старфилда и М.А.Тлеужанова, математическая модель расчёта параметров напряжённо-деформированного состояния горного массива методом граничных элементов, описывается применение компьютерной программы с учётом объёмного эффекта. Обосновывается методика организации оценки параметров очистной выемки вблизи объектов горной охраны. Исследуется механизм переноса известных горно-технологических решений в новую геологическую среду на базе использования принципов подобия и нового показателя сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке.

**В третьей главе** исследуется механизм деформирования, сдвижения и обрушения пород в подработанном и структурно нарушенном горном массиве, его влияние на организацию добычных работ, приводится авторская методика оценки параметров сдвижения на основе закона взаимодействия масс материи в электромагнитогравитационном поле Земли. Обосновывается авторский метод статической оценки зоны опасных сдвижений и необходимых объёмов погашения выработок закладкой различного вида, используемый для предупреждения негативных экологических последствий добычи руды. Описано применение компьютерной программы для организации оперативной оценки сдвижений породного и закладочного массива вокруг горных выработок. Формулируется **первое научное положение**.

**В четвёртой главе** рассматриваются методики оценки параметров днища камер и организация добычи руды одной из самых востребованных систем разработки – с обрушением руды и вмещающих пород (при донном и торцевом выпуске). В основу собственных теоретических исследований положена теория выпуска руды по Г.М.Малахову, И.К.Кунину, В.В.Куликову, П.П.Фельшау с использованием экспериментальных работ М.Е.Мухина, Г.В.Головской и И.А.Ковалёва. Обосновывается авторская методика оценки показателей извлечения при донном выпуске руды с учётом влияния свойств сыпучего материала на характер истечения, фактического распределения содержания полезного компонента по объёму камеры. Приведена экономико-математическая модель планирования режима выпуска, установлены особенности расчётов показателей извлечения при торцевом выпуске, достоинства и недостатки различных конструкций днища камер, получено обоснование оптимального момента прекращения выпуска руды из камеры. Описано применение авторской компьютерной программы для оперативных расчётов показателей извлечения руды в динамике, на произвольный момент времени. Предложены рекомендации по снижению горного давления на выработки горизонта выпуска и меры по снижению потерь и разубоживания - для организации работ системами с обрушением руды и вмещающих пород, а также при открыто-подземном способе добычи с погашением камер под дном карьера породами из рекультивируемых отвалов. Предлагаются варианты подготовки днища блока для последующего использования зон обрушения для размещения и выщелачивания отвалов бедной, забалансовой руды. Формулируется **второе научное положение**.

**В пятой главе** рассматриваются организационные принципы управления состоянием массива при слоевых и камерных системах разработки с закладкой выработанного пространства, наиболее часто применяемых при добыче ценных руд и в сложных горно-геологических условиях. В основу собственных исследований положены работы Паля В.Д., Смелянского Е.С., Цыгалова М.Н., Вольхина Б.А., Требукова А.Л., Алдамбергенова У.А., Дробота Б.П., Дейнера В.В. Приводится сводная ведомость факторов твердения, формирования закладки и их влияние на несущую способность искусственных массивов, обосновываются: новый коэффициент влияния слоистости массива на устойчивость кровли и минимально-необходимая прочность нижней несущей и верхней малопрочной пачки потолочины на разных стадиях её деформирования и для различных вариантов взаимного расположения выработок. Описываются технологии организации приготовления разнопрочной закладки и контроля прочности искусственных массивов. Анализируется механизм совместного деформирования искусственного и породного массивов, механизм передачи пригрузки от пачки к пачке, от слоя к слою. Предлагаются варианты применения разнопрочных твердеющих смесей при слоевой и камерной системах разработки, с частичной и с армированной закладкой. Обосновываются организационные мероприятия по повышению качества приготовления вяжущего, использованию отходов производства и снижению расхода цемента (т.е. снижению себестоимости закладки) при неизменной несущей способности искусственного массива.

Описываются авторские компьютерные программы по оперативному выбору параметров искусственной кровли, крепи и оценке устойчивости выработок.

Исследуются три возможные организационные схемы механизма взаимодействия горного и закладочного массивов, обосновывается необходимость выборочного профилактического укрепления и, напротив, разгрузки участков шахтного поля, выпадающих из среднего ряда по устойчивости вмещающих пород. Предлагаются авторские технологические схемы опережающего укрепления неустойчивых участков массива, конструкции пространственно-ориентированных опорных сооружений с их расчётом. Обосновывается методика комплексной оценки статической устойчивости полости в целом, а также организационный комплекс геомеханического обеспечения безаварийной и производительной очистной выемки, в основу которого положены результаты натуральных наблюдений за состоянием горного массива на сложноструктурных урановых месторождениях. Формулируется **третье научное положение.**

**В шестой главе** обосновывается эколого-экономическая модель оценки последствий того или иного технологического воздействия на массив, степень риска обрушений, а значит, разубоживания и потерь руды, сбоя в ритме очистной выемки, увеличения себестоимости добычи, причинения ущерба окружающей среде. Рассматривается методика предпроектного технико-экономического сравнения вариантов технологии добычи руды по чистому дисконтированному доходу и другим показателям эффективности инвестиций, с учётом эколого-экономической модели.

Описываются результаты промышленных испытаний: а) погашения выработок разнопрочной закладкой на месторождениях Приаргунского горно-химического комбината; б) методики оценки статической устойчивости выработок и технологии укрепления массива пространственно-ориентированными конструкциями на месторождении «Грачёвское»; в) методики оценки необходимых объёмов погашения и организация комбинированной закладки пустот на месторождении «Камышовое»; г) методики оценки и выбора технологии очистных работ на глубоких горизонтах месторождения «Восточное» - для Целинного горно-химического комбината. Приведена сравнительная экономическая эффективность авторских предложений. Предлагается авторская методика оценки и выбора необходимых объёмов добычи по забоям разносортной руды, реализованная в компьютерной программе. Представляются методы управления качеством и организацией горных работ на основе комплекса авторских прикладных компьютерных программ. Обосновывается методологические принципы выбора эффективных технологий освоения сложноструктурных месторождений с последующим использованием подземного пространства.

**В седьмой главе** рассматриваются примеры освоения подземного пространства городов, карстовых пещер, горных выработок шахт и рудников. Исследуются варианты традиционного (в промышленных, медицинских, туристических, культурологических целях) и нетрадиционного (для размещения

подземных атомных электростанций, хранилищ радиоактивных и токсичных отходов, сухой закладки из отходов производства, для дробления руды ядерными взрывами, выщелачивания металла в подземных камерах и в зонах обрушения – всего пять вариантов технологий) использования подземных полостей, оценивается их экономическая эффективность. Приводится авторская систематизация осваиваемых подземных пустот и организационные схемы нетрадиционного использования подземного пространства. Для выбранных систем разработки (с открытым очистным пространством, с твердеющей закладкой и с обрушением руды и пород) предлагаются варианты дальнейшего использования выработанного пространства. Формулируется **четвёртое научное положение**.

**В приложениях** приведены обоснования некоторых выводов основного текста диссертации (по главам), исследования физико-механических характеристик горных пород. Описаны в табличной форме методики различных авторов определения вертикальных нагрузок на потолочину, высоты свода естественного равновесия, устойчивой высоты вертикального обнажения, предельного пролёта обнажения породной кровли, расчёта целиков. Приведён **локальный проект выбора технологии добычи руды** в очистных блоках с различными геомеханическими условиями и вариантами последующего использования пустот - для уранового месторождения «Юбилейное» на основе применения авторских методик и компьютерных программ, в проекте представлены данные о напряжённо-деформированном состоянии подработанного массива и сдвигении горных пород. Обосновано применение в работе функциональных зависимостей, характерных для электромагнитогравитационного поля. Приведены справки и акты внедрения, реализации научных положений автора в проектах и в опытно-промышленных работах.

### **Первое защищаемое научное положение**

Успешно применяя какие-либо горно-технологические решения по подземной разработке на конкретном месторождении важно уметь использовать эти решения и на другом месторождении или его участке, особенно на сложноструктурных месторождениях. Для **оценки правомерности переноса известных горно-технологических решений в новую геологическую среду** можно применить принципы подобия, известные в моделировании. А именно:

- 1) Граничные и начальные геологические характеристики массивов должны совпадать (в первую очередь генезис месторождений).
- 2) Количественное подобие физико-механических характеристик массивов пород, т.е.  $R_{сж}$ ,  $R_n$ ,  $R_p$ ,  $E$ ,  $\mu$ ,  $t_{релакс}$ ,  $\Phi_{внутр\_трения}$ .
- 3) Одноименные безразмерные параметры должны быть равны.
- 4) Качественное соответствие характера деформирования и разрушения.

Для качественной и количественной оценки подобия массивов можно использовать новый **показатель сложности** геолого-морфологического строения (впервые предложен проф. Б.П.Юматовым для открытых горных работ) и горно-

технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке. Этот показатель зависит от характеристики породного массива, типа рудоносного вулканического сооружения (по Ф.И.Вольфсону), уровня дислокационного метаморфизма (по Г.Ф.Яковлеву), от структурного типа месторождения, от характера контактов рудных и безрудных участков, от характера распределения металла в руде и проявления НДС горного массива и, следовательно, от характера горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке – см. ниже характеристику сложноструктурных месторождений и факторы, определяющие сложность горно-геологических условий.

Итак, показатель сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке можно определить по формуле:

$$\Omega = \frac{\sum \Omega_i}{n} \quad (1)$$

где  $\Omega_i$  - показатель сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических признаков  $i$ -ого геологического разреза по данному эксплуатационному блоку;  $n$  - число геологических разрезов по эксплуатационному блоку.

Показатель сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических признаков зависит от структурного типа месторождения, от характера контактов рудных и безрудных участков, от характера распределения металла в руде и проявления напряжённо-деформированного состояния горного массива и, следовательно, от характера горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке (в относительных единицах):

$$\Omega_i = 1 / \xi_1 \xi_2 \xi_3 \xi_4 \xi_5 \quad (2)$$

где  $\xi_1$  – показатель сложности структурного типа эндогенных рудных месторождений, учитывающий геологические характеристики: структуру рудного поля, осложнённую разрывными нарушениями; тип рудного месторождения, тип рудоносного вулканического сооружения (см. ниже рис.);

$\xi_2$  – показатель контактов рудных и безрудных участков, зависит от суммарной длины контактов рудных тел с вмещающими породами в пределах рассматриваемого геологического разреза, от мощности слоя пустых пород, попадающих в руду, от площади геологического разреза в пределах эксплуатационного блока;

$\xi_3$  – показатель распределения металла в руде, определяемый двумя способами: а) по общему коэффициенту вариации содержания и мощности слоя металла в руде, в зависимости от коэффициентов вариации содержания металла и вариации мощности рудного пропластка в керне; б) по комплексному показателю расширенного качества полезного ископаемого (по Г.Г.Ломоносову);

$\xi_4$  – показатель проявления НДС горного массива, учитывающий: коэффициент структурного ослабления прочности пород на одноосное сжатие, показатель удароопасности, коэффициент концентрации напряжений;

$\xi_5$  – показатель горно-технологических условий добычи руды, учитывающий: способ разработки, способ вскрытия, систему разработки, способ управления

горным давлением, способ проветривания очистных и проходческих выработок (включая меры по пылеподавлению, дегазации), способ борьбы с водопритокком, меры по управлению качеством, стабильностью рудной массы.

Чем выше показатель сложности ( $\Omega$ ), тем более тяжёлые условия залегания месторождения и тем выше будут расходы на геологоразведку, на управление состоянием горного массива, больше будут величины потерь и разубоживания при добыче, т.е. возрастают затраты и ущерб экологии, падает прибыль предприятия. В условиях конкретного месторождения эксплуатационные блоки каждого типа можно классифицировать по степени сложности, используя для этого полученные значения показателя сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических признаков.

Для каждого блока, на основании аналитических прогнозов и опытно-промышленных испытаний, можно выбрать наиболее рациональную технологию ведения валовых или селективных добычных работ, систему разработки, оптимальные параметры буровзрывных работ, выпуска и доставки рудной массы, поддержания подземного пространства, способа закладки выработанного пространства, мероприятий по охране окружающей среды, варианты последующего использования подземных пустот и т.п. Показатель сложности может быть также использован и для нормирования минимального разубоживания руды  $R_{\text{норм}}$ , соответствующего применяемой технологии отработки конкретного эксплуатационного блока (чем выше  $\Omega$ , тем выше и  $R_{\text{норм}}$ ).

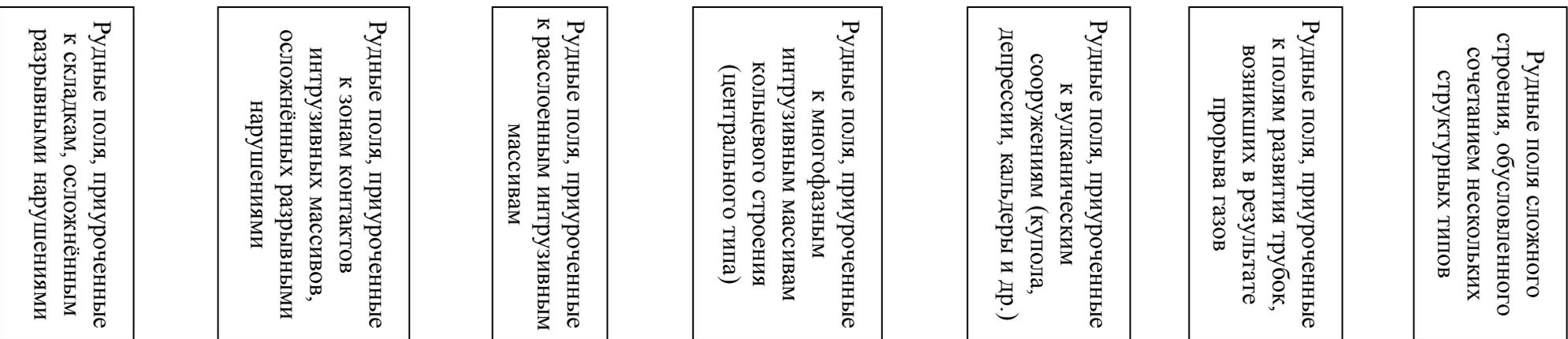
Для оперативного прогнозирования **напряжённо-деформированного состояния** подземных полостей любых размеров и в любых сложных горно-геологических условиях, на произвольной стадии развития горных работ, автором предложена математическая модель и составленная на её основе прикладная компьютерная программа «Напряжения». В программе используется метод граничных элементов, моделируется объёмная анизотропная среда с разрывами (разрывы характеризуются определённой жёсткостью в двух перпендикулярных направлениях), границы полостей представляются усилиями предельного отпора или деформациями, вызванными креплением или же закладкой исследуемых выработок. Для оценки длительности устойчивых обнажений пород обосновывается применение теории ползучести (по Ж.С.Ержанову). Компьютерная программа, основанная на комбинированном методе граничных элементов, учитывающем разрыв сплошности среды по геологическим швам, с включением коэффициентов объёмности и критериев долговременной устойчивости массивов, позволяет решать разнообразные организационные и геомеханические задачи, имеющие первостепенное значение для технологии горных работ. Полученный новый коэффициент учёта объёмного характера деформирования массива зависит от постоянной Ламе, напряжений и деформаций в массиве, коэффициента Пуассона, модуля деформации и модуля сдвига.

# Систематизация сложноструктурных образований

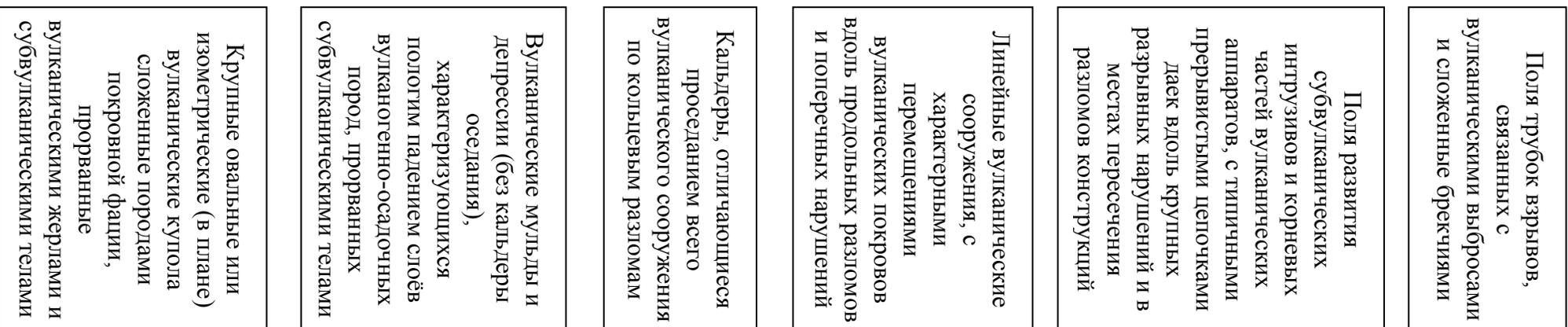
## I. Типы рудных месторождений



## II. Структуры эндогенных рудных полей



## III. Рудоносные вулканические сооружения



# Факторы, определяющие сложность горно-геологических условий

## I. По типу сложных условий

Гидрогеологические

Геомеханические

Геодинамические

Газодинамические

Геотермические

## II. По характеристике породного массива

- рыхлые, водонасыщенные, слабосвязные породы;  
- крепкие, трещиноватые, водообильные породы

- сильно нарушенный трещинами и разломами массив;  
- пучащие породы;  
- высокие напряжения в массиве

- хрупкие, удароопасные породы;  
- большая глубина разработки

- выбросоопасные породы;  
- газонасыщенные

- многолетнемёрзлые и замороженные породы;  
- высокотемпературные породы

## III. По характеру проявлений сложности условий

Высокий водоприток, прорывы воды, обводнённость или затопление выработок – высокие расходы на водоотлив и на предохранительные мероприятия

Вывалы, обрушения, сдвиги пород, пучение почвы – высокие затраты на ремонт крепи, восстановление выработок и на предохранительные мероприятия

Горные удары – высокие затраты на восстановление выработок, ремонт крепи и на предохранительные мероприятия

Внезапные выбросы газа, суфляры – высокие затраты на вентиляцию и на предохранительные мероприятия

Образование ореола оттаивания, пожары, ухудшение санитарно-гигиенических условий труда – высокие затраты на предохранительные мероприятия

#### **IV. По геолого-морфологическим типам**

Месторождения с гнездовым характером оруденения

Жильные и линзообразные рудные тела неправильной формы

Штокверки с неравномерным прожилково-вкрапленным оруденением

Пластообразные рудные тела переменной мощности с разными углами падения

#### **V. По характеру распределения металла в руде**

Наличие нескольких сортов монометаллических руд

Полиметаллические руды с изменяющимся содержанием отдельных компонентов

Наличие участков окисленных, смешанных и сульфидных руд

Наличие сложных криволинейных контактов между рудными и безрудными участками

Наличие чётких контактов между рудными и безрудными участками

Закономерное изменение содержания металлов в определённом направлении

#### **VI. По характеру проявлений НДС массива**

Резкие перепады зон нагружения и разгрузки, разделённые трещинами тектонического происхождения

Плавные изменения степени устойчивости участков горного массива от зоны к зоне

Потенциально удароопасные зоны

Потенциально вывалоопасные зоны, зоны обрушения

#### **VII. По характеру горно-технологических условий добычи**

Валовая добыча камерными системами разработки

Селективная добыча камерными системами разработки

Селективная добыча слоевыми системами разработки

Селективная добыча камерными и слоевыми системами разработки с твердеющей закладкой

Заблаговременное приведение горного массива в равноустойчивое состояние сооружением опорных пространственных конструкций

Для камерных и слоевых очистных выработок обоснована, на базе исследований механизма деформирования и разрушения породной кровли, **методика прогноза предельной несущей способности породной кровли выработок**. Методика отличается учётом арочного эффекта в самозаклинённой кровле, величины критических деформаций, механизма появления трещин и образования пластических шарниров на опорах и в пролёте плиты-потолочины выработок. Установлено, что образование в сжатой зоне сечения монолитной плиты пластических шарниров происходит при определённой высоте зоны смятия, т.е. до появления первых трещин в теле плиты (сначала на опорах) – упругая стадия работы потолочины; рост трещин на опорах – пластическая стадия; появление третьей трещины в пролёте – предельная стадия и скорое обрушение потолочины при достижении трещиной в пролёте определённой длины.

Обоснованы математические модели расчёта предельного эквивалентного пролёта **обнажения для слоистой кровли, плоского и сводчатого обнажения трещиноватой кровли**, зависящие от: коэффициента ослабления массива, прочности пород, коэффициента бокового отпора, объёмного веса пород, высоты столба пород, мощности несущей кровли, предельного прогиба балки-плиты, размеров среднего куска трещиноватой кровли, высоты свода давления. Величины высоты свода давления и предельного прогиба естественной и искусственной потолочины определяются отдельным расчётом. Получены, на основе промышленных измерений со сходимостью не менее 75%, эмпирико-аналитические зависимости устойчивых пролётов обнажений и высоты свода обрушения для скальных трещиноватых пород РУ-5 ЦГХК на глубинах 100...200 м от земной поверхности – для потолочин штреков (ортов) пролётом 3.5 м и для камер пролётом 20 м.

Для нарушенного очистными выработками горного массива разработана методика выбора устойчивых параметров полостей, объёмов погашения пустот закладочным материалом различного вида на основе **прогноза сдвижений** горных пород и их влияния на объекты горной охраны. Как показали исследования автора, недостаточно знать величину горного давления вблизи выработок, необходимо ещё оценить величины возможных сдвижений и обрушений пород в подработанном массиве, причём не только на период очистных работ, но и при дальнейшем использовании подземных полостей. Важнейшим условием устойчивости подработанного массива в целом является выбор соответствующих размеров полостей и своевременное погашение выработанного пространства - закладкой, обрушением, изоляцией. Определение места, объёмов и очередности погашения выработок является чрезвычайно актуальной задачей для любого рудника, ведь выбор необходимых и достаточных объёмов, вида закладки напрямую влияет на выбор технологии и себестоимость добычи, а также обуславливает возможные негативные последствия извлечения руды.

Автором обосновывается **методика статической оценки** размеров зон сдвижений и обрушений вокруг выработки, погашенной полностью или же частично - сухой, гидравлической или твердеющей закладкой (на её основе составлена прикладная компьютерная программа «Объём»). Наклон стенок полости, различие материалов в боках и кровле при этом учитывается отдельным расчётом (см. формулы 29...31). Высота зоны обрушения пород при наличии в камере некоторого непогашенного объёма зависит: от объёмов закладки и изоляции в полости, от величины пролёта и высоты полости, от угла внутреннего трения сыпучего материала (налегающих пород, закладки), от коэффициентов компрессии закладки и обрушенной породы, от коэффициент разрыхления, площади обнажения полости в плане, мощности погашенной и непогашенной части полости.

**Методика динамической оценки** оседаний, деформаций, наклонов и кривизны подработанного различным образом массива в любой его точке обосновывается математической моделью, на её основе составлена прикладная компьютерная программа сдвижения пород в нарушенном массиве «Сдвижения», с учётом новых параметров: кривизны реальной мульды-аналога, скорости оседаний, горного давления, тектонических разрывов сплошности. В модели используются закономерности взаимодействия масс материи, применительно к задачам с объёмным (камера) или плоским (пласт, слой) источником возмущения в сплошной среде, нарушенной трещинами, с чередующимися незаполненными полостями и закладочными массивами. За пределами границы зоны обрушения пород, оторвавшихся от массива, как представляется, действуют законы взаимодействия "центров тяжести" по теории гравитационного поля, согласно которой напряженность поля, вызванная точечным, объёмным, плоскостным или линейным источником возмущения, - снижается с удалением от источника, обратно пропорционально квадрату расстояния до него. Напряжённость поля от произвольной полости определяется как функция радиуса элементарного шара (фиксированного малого диаметра), совокупность множества которых и составляет объём полости. Переходя от интенсивности объёма сферы или цилиндра к абсолютной величине смещения, получаем вертикальные оседания и горизонтальные смещения в произвольной точке наблюдения, в массиве и на земной поверхности, с учётом коэффициентов фактической формы мульды-аналога, скорости оседаний по массиву и по трещинам, напряжённого состояния массива (получаемых по результатам маркшейдерских замеров и геомеханического мониторинга).

**Величина оседаний** мульды зависит от координат "центра тяжести" источника единичного возмущения, характеристики мульды оседаний (равной расстоянию от точки с максимальным наклоном профиля мульды-аналога до точки с максимальной кривизной), новых коэффициентов - формы мульды, скорости оседаний, учёта напряжённого состояния горного массива.

**Коэффициент формы** мульды рассчитываем по формуле (в отн. ед.):

$$K_1 = \text{EXP} \left[ \frac{(x-X_0) \text{Ln} \frac{U_{\max}}{R_a}}{G} \right] * \text{EXP} \left[ - \frac{(x-X_0)^2 + (y-Y_0)^2}{2\sigma^2} \right] \quad (3)$$

где  $U_{\max}$  - максимальное оседание мульды-аналога, м;  $R_a$  - приведенный радиус полости-аналога, м;  $G$  - расстояние по восстанию от горизонтальной поверхности искомым оседаний до геометрического центра полости-аналога, м.

**Коэффициент скорости оседаний** по трещинам можно получить на основе данных многомесячных маркшейдерских наблюдений за нарастанием оседаний над полостью-аналогом (в отн. ед.):

$$K_2 = 1 - \text{EXP}(-s T) \quad (4)$$

где  $T$  - интересующий период времени, например, срок службы рудника, годы;  $t$  - период замеров оседаний, годы;  $s$  - функция скорости оседаний,  $\text{год}^{-1}$ :

$$s = \frac{\text{Ln}(1-U_i)}{t} \quad (5)$$

$U_i$  – величины фактических оседаний мульды-аналога, в различных точках, м.

**Коэффициент учёта напряженного состояния** горного массива (в отн. ед.):

$$K_3 = \frac{\sigma_i}{k_0 [\sigma_{сж}]} \quad (6)$$

где  $\sigma_i$  - интенсивность нормальных напряжений в массиве, МПа;  $k_0$  - коэффициент ослабления прочности пород в массиве по сравнению с образцами;  $[\sigma_{сж}]$  - прочность образцов пород кровли полости на компрессионное сжатие, МПа.

В окончательном виде оседания в произвольной точке налегающего массива или на земной поверхности можно получить по формуле (в метрах):

$$U = U_{\max} \frac{K_1 K_2 K_3}{K_p} \quad (7)$$

где  $K_p$  – остаточный коэффициент разрыхления и уплотнения обрушившихся пород (1,1-1,15), учитывает уменьшение объёма мульды оседаний по сравнению с объёмом полости.

Оценка сдвижений, последствий ведения горных работ особенно актуальна при вторичном использовании подземных пустот, а также при очистных работах вблизи предохранительных зон капитальных сооружений на земной поверхности и в массиве (промышленные и гражданские здания, шахтные стволы, околоствольные дворы, квершлагги и т.п.), когда очень важно определиться с размерами целиков, с видом и объёмом закладки, организацией

добычи руды. Этот принцип впервые был применён при разработке, совместно институтами ВНИМИ и ВНИПИпромтехнологии, «**Инструкции по безопасному ведению горных работ** и контролю за сдвигами в предохранительных зонах шахт Приаргунского горно-химического комбината».

Автором предложена последовательность геомеханического анализа последствий добычи руды, параметров очистных выработок (в том числе вблизи охраняемых объектов), позволяющая решать многовариантную задачу выбора системы разработки, её параметров и последовательности работ, а также схему погашения пустот, объёмы и вид закладки выработанного пространства, моделировать варианты дальнейшего использования недр.

Рассмотрев механизм возникновения гидротермального месторождения, напряженно-деформированного состояния горного массива, автором обоснован прогноз местоположения зон разрывных нарушений (рудоносных каналов) в вулканических сооружениях, например, кальдерах, на основе закона взаимодействия масс материи, с глубинным объёмным источником магматического возмущения в гравитационном поле.

**Методика выбора** эффективной технологии добычи руды и последующего использования подземного пространства базируется на методике оценки устойчивых параметров обнажений камерных и слоевых очистных выработок вблизи охраняемых объектов, и заключается в следующем.

1. Определяется напряжённое состояние нетронутого горного массива по результатам соответствующих шахтных испытаний.

2. Устанавливаются физико-механические характеристики массива закладки и пород по каждому типу - прочность, модуль деформации, коэффициент Пуассона, вертикальные и горизонтальные размеры отдельностей по зонам трещиноватости, коэффициент компрессии и параметры ползучести; характеристики крупных тектонических разломов - сцепление по разлому, ширина зон дробления, интенсивность процесса обрушения.

3. Производятся расчеты напряженно-деформированного состояния контура проектируемых выработок и вмещающего массива при различной последовательности выемки (по компьютерной программе «Напряжения»), результатом чего являются изолинии максимальных напряжений вблизи полостей для различных вариантов очистной выемки.

4. На основе построения изолиний напряжений осуществляются подбор устойчивых параметров систем разработки, последовательность и скорость ведения выемочных работ путём сравнения максимальных напряжений с предельными значениями по трём теориям прочности (по максимальным нормальным, касательным напряжениям и по энергетической теории); в этом случае нет необходимости производить расчеты деформаций охраняемых объектов, так как не будет обрушения пород и опасных деформаций.

5. Осуществляются расчеты процесса возможного обрушения пород и закладки - для обнажении, превышающих предельно допустимые. В процессе расчётов (по компьютерной программе «Сдвигания») определяются зоны запредельных деформаций на каждой стадии обрушения, отстраивается новый контур полости и новые зоны запредельных деформаций по циклам до тех пор,

пока процесс обрушения не прекратится - либо выйдя на земную поверхность, либо за счёт образования устойчивых обнажений. Задавая время эксплуатации охраняемого объекта и предельные его деформации растяжения-сжатия и наклон, можно решать многовариантную задачу выбора системы разработки, её параметров и последовательности горных работ, а также объёмы и вид закладки выработанного пространства.

6. Выбор оптимальных систем разработки по другим критериям (не на основе геомеханических соображений) - по горным возможностям рудника и по технико-экономическим и экологическим параметрам.

7. Выбор вариантов последующего использования подземного пространства для ликвидации на земной поверхности отвалов, хвостохранилищ, складов бедной руды и других экологически вредных объектов.

8. Обоснование необходимости длительного сохранения отдельных подготовительных выработок и целиков, обеспечивающих подъездные пути к используемым подземным пустотам, и их устойчивость.

При проектной оценке и выборе вариантов перехода от систем с обрушением к системам с закладкой на глубоких горизонтах месторождения «Восточное» ЦГХК, по авторской методике, был предложен вариант добычи руды под искусственным целиком камерами с последующей их твердеющей закладкой, себестоимостью<sup>1</sup> 12,0 руб./м<sup>3</sup>. Сравнивая предлагаемый вариант с базовым – добычей руды нисходящей слоевой выемкой с твердеющей закладкой (17,5 руб./м<sup>3</sup>) - получен условный экономический эффект 5,5 руб./м<sup>3</sup>.

При опытно-промышленном испытании технологической схемы комбинированного погашения пустот на месторождении «Камышовое» ЦГХК (по методике статической оценки размеров зон сдвижений и обрушений) была достигнута сравнительная экономическая эффективность в 96,72 тыс. руб., что составляет 14,33 руб./м<sup>3</sup> (в базовом варианте технологии запасы руды были потеряны).

### **Второе защищаемое научное положение**

Для организации процесса последующего выщелачивания металла из бедной и забалансовой руды, размещённой в зонах обрушения, - необходимо сначала выбрать рациональный режим выпуска и оптимальные параметры днища, а затем, после выпуска руды, произвести работы по гидроизоляции пространства, по улавливанию растворов дренажными скважинами, по созданию заграждающего пневматического барьера, снижающих экологическую нагрузку на окружающую среду.

Зоны обрушения на горном предприятии могут образовываться либо при превышении устойчивых размеров обнажений горных выработок (см. первое защищаемое научное положение) либо при применении систем разработки с обрушением руды и пород.

---

<sup>1</sup> В ценах середины и конца 80-ых годов.

Эффективность систем этажного и поэтажного обрушения характеризуется самыми низкими затратами на добычу руды и на погашение выработанного пространства, отсутствием рудных целиков, высокой безопасностью труда. Ограничений по применению систем фактически два: а) высокая вероятность возникновения воронки обрушения на земной поверхности и б) высокие потери, разубоживание руды.

Автором, на основании теории выпуска проф. В.В.Куликова и исследований проф. И.К.Кунина, Г.М.Малахова, В.Р.Именитова, И.А.Ковалёва, получена математическая модель (реализованная в авторской компьютерной программе «Выпуск»), позволяющая производить выбор оптимальных расстояний между дучками, диаметра воронок, объёмов единичной, максимальной дозы и режима выпуска, отличающаяся возможностью подсчёта значений потерь, разубоживания, экономической эффективности для каждой дискретной объёмной дозы выпуска (на любой момент времени), учётом изменчивости сыпучести, разрыхления руды, ширины выпускного отверстия (объёма сегмента эллипсоида ниже уровня выпускного отверстия) и учётом распределения металла в блоке.

Объёмы различных частей эллипсоида рассчитываются в математической модели с учётом: а) показателя сыпучести (по В.В.Куликову), зависящему от кусковатости, угла внутреннего трения, коэффициента разрыхления, т.е. свойств отбитой руды – сыпучей среды, его можно корректировать на любой стадии выпуска и вносить соответствующие изменения в расчёты, кроме того, этим показателем можно целенаправленно управлять, изменяя параметры БВР; б) части высоты эллипсоида выпуска, ниже уровня выпускного отверстия ( $\Delta$ ):

$$\Delta = \frac{H}{2} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{d_{\text{отв}}^2}{pH}} \right), \text{ м} \quad (8)$$

где  $H$  – полная высота эллипсоида, м;  $d_{\text{отв}}$  – ширина, диаметр сечения выпускного отверстия, м;  $p$  – показатель сыпучести, м;

в) ширины одного сегмента при «касании» двух соседних эллипсоидов ( $\xi$ ):

$$\xi = \sqrt{\frac{pH}{2}} - \sqrt{\frac{p(h_y + \Delta)h_b}{H}}, \text{ м} \quad (9)$$

$h_y$  - часть усечённого с двух сторон эллипсоида выпуска, м;  $h_b$  – часть высоты эллипсоида выпуска, мощность разубоживающей толщи налегающих пород, м.

Методика позволяет выбрать наиболее эффективные параметры днища и режим выпуска, рассчитав заранее для донного и торцевого выпуска оптимальные показатели: расстояние между осями выпускных дучек, диаметр воронок, количество выпускаемого объёма в единичной дозе, максимальное число доз выпуска, параметры извлечения - коэффициенты потерь ( $k$ ),

разубоживания ( $r$ ), выход рудной массы ( $\eta$ ), текущую экономическую эффективность на произвольную дозу выпуска из любой дучки ( $\Sigma Q_{\text{доз}}$ ).

Показатели извлечения руды при **донном** выпуске на произвольную дозу определяются по следующим формулам:

- коэффициент разубоживания руды (в отн.ед.):

$$r = \frac{V_{\text{в}}}{\Sigma Q_{\text{доз}}} = \frac{\pi \rho h_{\text{в}}^2}{3 H \Sigma Q_{\text{доз}}} (3 H - 2 h_{\text{в}}) , \quad (10)$$

- коэффициент потерь руды (в отн.ед.):

$$k = \frac{V_{\text{потерь}}}{B} = 1 + \frac{\Sigma Q_{\text{доз}}}{h_{\text{г}} D_0^2} \left[ \frac{\pi \rho h_{\text{в}}^2}{3 H \Sigma Q_{\text{доз}}} (3 H - 2 h) - 1 \right] \quad (11)$$

- выход рудной массы (в отн.ед.)

$$\eta = \frac{\Sigma Q_{\text{доз}}}{B} = \frac{\Sigma Q_{\text{доз}}}{h_{\text{г}} D_0^2} , \quad (12)$$

- доза выпуска (в м<sup>3</sup>)

$$\Sigma Q_{\text{доз}} = \frac{\pi \rho}{3} h_{\text{г}}^2 \quad (13)$$

где  $B$  – балансовые запасы, приходящиеся на одну дучку, м<sup>3</sup>;  $h_{\text{г}} = h_{\text{y}} + \Delta$ , м;  $D_0$  - приведенное расстояние между выпускными отверстиями  $D_0 = \sqrt{L_x L_y}$ , м;  $L_x$  и  $L_y$  - расстояние между осями отверстий в ряду и между рядами, м.

Существует предубеждение, что законы выпуска применимы лишь для отбитой рудной массы, а при смешивании её с обрушившимися породами все прогнозы оказываются недействительными. Это не так, тщательно соблюдая режим выпуска из разных воронок, по данным проф. И.К.Кунина, в процессе истечения руды происходит самосортировка кусков по крупности – в результате у выпускного отверстия быстрее оказываются более мелкие фракции. Поэтому рудная масса, отбитая взрывами на кондиционные куски, конечно, имеет преимущество перед обрушившимися негабаритами, кусками породы. Естественно, при несоблюдении паспорта БВР возможны зависания рудных негабаритов в дучке и тогда, после ликвидации зависания, размеры дучки увеличиваются, но это фактическое изменение размеров ( $d_{\text{отв}}$ ) корректируется в математической модели.

Максимальный объём выпускаемой из дучки дискретной дозы принят (по П.П.Фельшау) как предельный объём, при превышении которого происходит эффект «схлопывания эллипсоида разрыхления», т.е. когда плавный процесс разрыхления отбитой руды сменяется резким её уплотнением за счёт

обрушения (внутри эллипсоида) нависающей псевдозаклинной сыпучей массы.

Оперативно выбирать параметры днища и контролировать процесс выпуска позволяет разработанная автором математическая модель и составленная на её основе прикладная компьютерная программа «Выпуск», где вычисление определённых интегралов (объёмов эллипсоидов на любой момент времени) осуществляется по известной формуле Симпсона. Расчёт производится как для **статической модели** - предельных эллипсоидов выпуска в блоке (максимально-возможных по условию предельного разубоживания руды), так и для **динамической модели** - извлечения отбитой руды отдельными дозами из разных дучек. В программе рассматриваются не только внутренние эллипсоиды, но и эллипсоиды выпуска, расположенные на границе с ранее обрушенным блоком, откуда также может поступать сыпучая масса.

При **торцевом выпуске** под обрушенными породами отбойка руды происходит "в зажатой среде", поэтому эллипсоид выпуска отклоняется в сторону более "разрыхленного материала" (рис. 3). По данным В.Р.Именитова-И.А.Ковалева коэффициент разрыхления изменяется от границы с неотбитым массивом к обрушенным породам в диапазоне  $K_p=1.1...1.4$ . Отсюда получаем и диапазон изменения угла наклона эллипсоида к горизонту ( $\psi$ ):

$$\psi = 90^\circ - \arctg \left[ \frac{(a_1 \div a_2)}{D} \right], \text{ град.} \quad (14)$$

где  $D$  - ширина слоя отбиваемой за цикл руды или мощность рудного тела при выемке камерами вкрест простирания залежи, м;  $a_1=20,56$  м и  $a_2=21,46$  м (большее значение коэффициента «а» принимается при большем значении коэффициента разрыхления  $K_p$ ).

При **торцевом** выпуске на подэтажах максимальная сумма доз выпуска и показатели извлечения рассчитываются по формулам (условные обозначения см. выше):

$$\Sigma Q_{\text{доз}}^{\text{max}} = \frac{\pi r}{3} \left( \frac{h_{\text{пэ}}}{\sin \psi} \right)^2, \text{ м}^3$$

$$r = \frac{V_{\text{разуб}}}{\Sigma Q_{\text{доз}}}, \text{ отн.ед.} \quad (15)$$

$$\eta = \frac{\Sigma Q_{\text{доз}}}{h_{\text{пэ}} D D_1}, \text{ отн.ед.}$$

$$k = 1 + \eta(r - 1) = 1 + \frac{\Sigma Q_{\text{доз}}}{h_{\text{пз}} DD_1} \left[ \frac{V_{\text{разуб}}}{\Sigma Q_{\text{доз}}} - 1 \right], \text{ отн.ед.}$$

$$V_{\text{разуб}} = \frac{\pi r}{h_{\text{доз}} \cos \psi} \left[ (h_{\text{доз}} \sin \psi)^2 - h_{\text{гр}}^2 - \frac{1}{3} \cos \psi \left\{ (h_{\text{доз}} \sin \psi)^3 - h_{\text{гр}}^3 \right\} \right], \text{ м}^3$$

При подэтажном торцевом выпуске расстояние между выработками выпуска можно принять по В.Р.Именитову-И.А.Ковалёву и оно должно быть не больше диаметра эллипсоида выпуска.

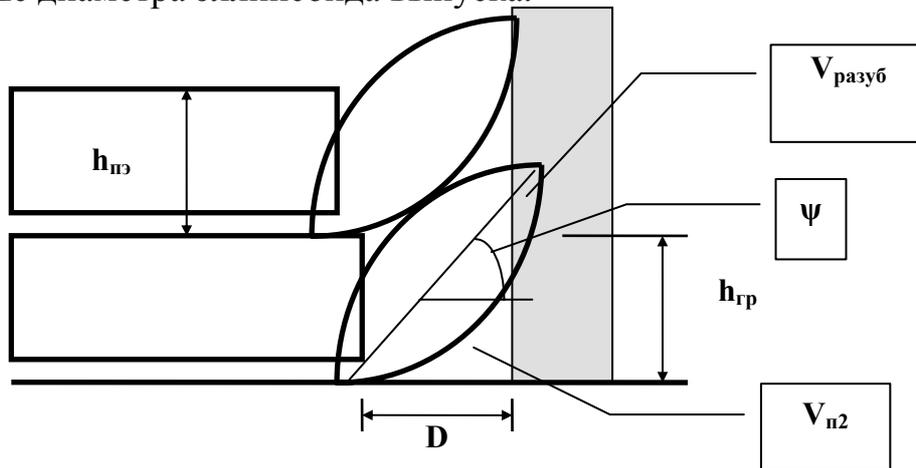
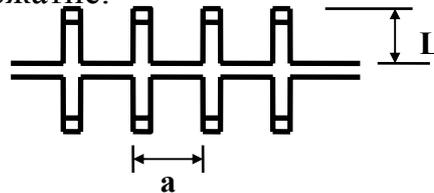


Рис. 3. Схема к расчёту показателей торцевого выпуска руды

С другой стороны, минимально-возможное расстояние между выпускными отверстиями можно получить из условия сохранения несущей способности днища, с учётом коэффициента, зависящего от схемы расположения выпускных отверстий относительно откаточной выработки (он различен при одностороннем, при двухстороннем симметричном и шахматном расположении отверстий); с учётом ширины ниши под выпускную дучку и предела прочности пород днища на одноосное сжатие.



При этом максимальное давление веса обрушенных пород на основание камеры (P) равно:

$$P_{\text{max}} = \frac{\gamma H_{\text{бл}} B}{\eta \text{tg} \varphi H} \left[ 1 - \exp \left( -\eta \text{tg} \varphi \frac{H}{B} \right) \right], \text{ МПа} \quad (17)$$

где B - ширина блока, м;  $\varphi$  - угол внутреннего трения обрушенных пород и руд,  $\varphi = 40 \dots 50^\circ$ ;  $\eta$  - коэффициент бокового отпора пород;  $\gamma$  - удельный вес налегающих пород,  $\text{МН/м}^3$ ; H - глубина от земной поверхности, м;  $H_{\text{бл}}$  - высота блока с обрушенными породами, м; n - запас прочности, например, n = 2.

При известном геологам распределении содержания металла по объёму камеры можно прогнозировать количество металла в каждой дозе выпуска ( $V_i$ ) по каждой дучке отдельно именно с учётом этого распределения:

$$V_i = \alpha_i * \int_{h_i}^{h_i+1} S_i dh, \quad \text{м}^3 \quad (18)$$

где  $\alpha_i$  – содержание металла в  $i$ -м объёме, отн.ед.;  $S_i$  – функция площади эллипсоида,  $\text{м}^2$ ;  $h_i$  – высота эллипсоида, м.

Таким образом, используя разработанную математическую модель и компьютерную программу, можно заранее выбрать оптимальные параметры днища блока и режима выпуска, а затем оперативно получать все необходимые показатели по дозам выпуска на любой момент времени (внося уточнения по факту изменения - показателя сыпучести, размера дучек, содержания металла), что очень важно, в том числе и для ведения отчётности по очистным блокам на действующем руднике. При этом потери и разубоживание по системе разработки при такой организации контроля существенно снизятся. Обрушения земной поверхности при такой системе разработки возможны и прогнозируемы, но по окончании добычных работ провал земной поверхности можно - или заполнить породами из отвалов, а затем их покрыть трёхметровой толщей плодородной земли, или использовать как ёмкость для складирования и последующего выщелачивания бедной и забалансовой руды.

Организация подготовки блока к последующему выщелачиванию включает проходку дренажных скважин под бывшим горизонтом выпуска и монтаж электровакуумной установки. Продуктивные растворы из дренажных скважин перепускаются в растворосборник, расположенный на небольшом удалении от рудного тела. На сложноструктурных месторождениях ореол растекания раствора обычно не превышает 5-8 м, т.к. проникновению раствора препятствуют взаимопересекающиеся трещины.

Первый вариант **подготовки днища** – создание гидроизоляционного слоя (на основе пластиката или бетона), но потери раствора всё же достигают 15-40% за счёт растекания по бортам и по трещинам, минуя гидроизоляционный слой (по данным Кроткова В.В., Лобанова Д.П., Нестерова Ю.В. и Абдульманова И.Г.). Другой вариант подготовки днища предусматривает вместо оформления дорогостоящего гидроизоляционного слоя следующее: весь закачиваемый в блок раствор перепускается на нижний горизонт и откачивается из **депресссионной воронки** на уровне трещинных вод; улавливание таким способом продуктивного раствора, несмотря на высокое разубоживание его шахтными водами (до 40%), является более эффективным решением (рис. 4). Третий вариант подготовки днища блока и снижения потерь продуктивного раствора заключается в создании в днище блока **пневмобарьера** за счёт подачи сжатого воздуха (импульсов высокого давления) в скважины, пробуренные перпендикулярно направлению преобладающих трещин из дренажного штрека до границ предполагаемого ореола растекания раствора (рис. 5), аналогичным образом можно создать и гидрозавесу (заграждение-барраж).

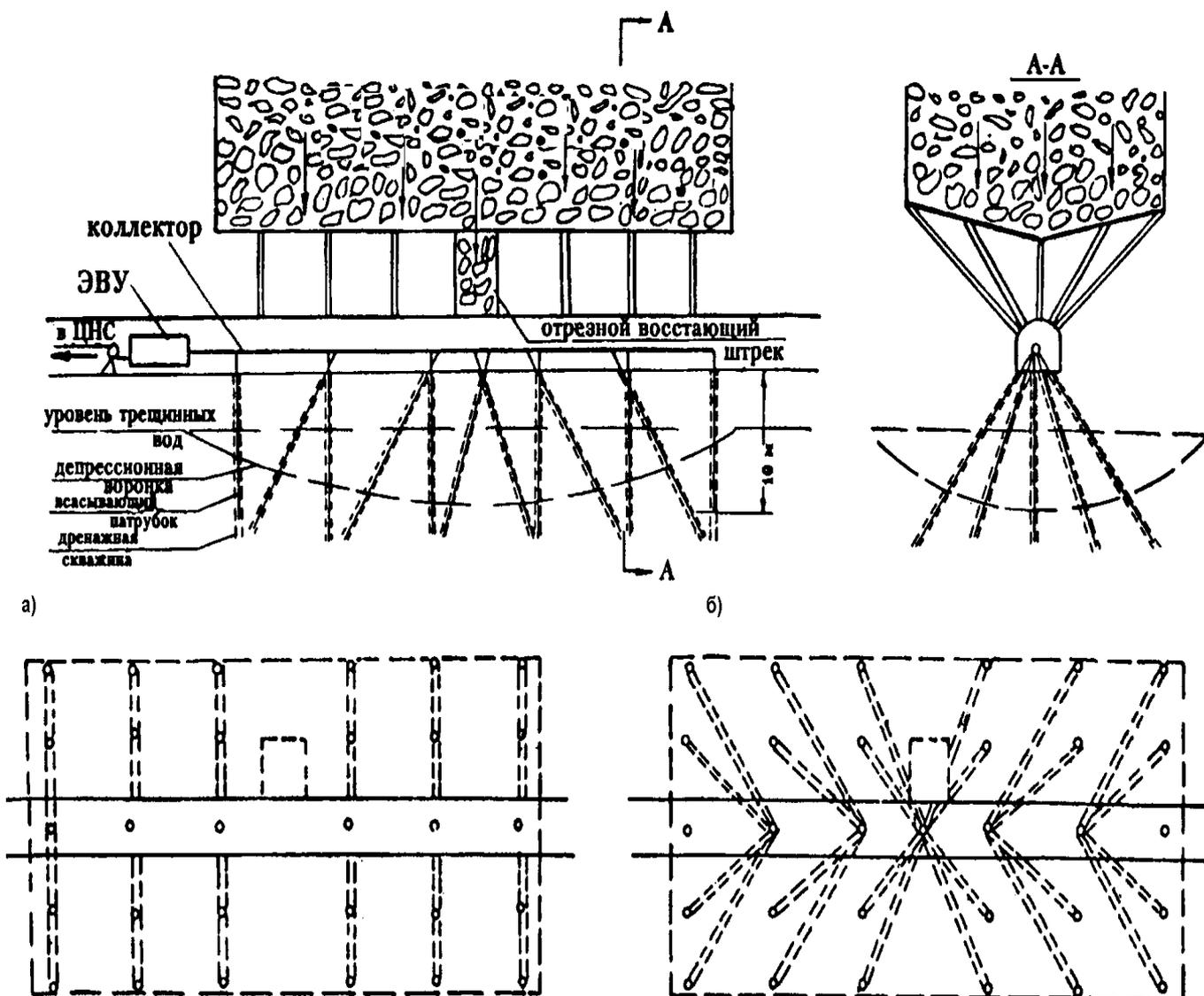


Рис. 4. Схема с двумя вариантами улавливания продуктивных растворов на уровне трещинных вод:

а – с линейным расположением дренажных скважин;

б – с площадным расположением кустов дренажных скважин

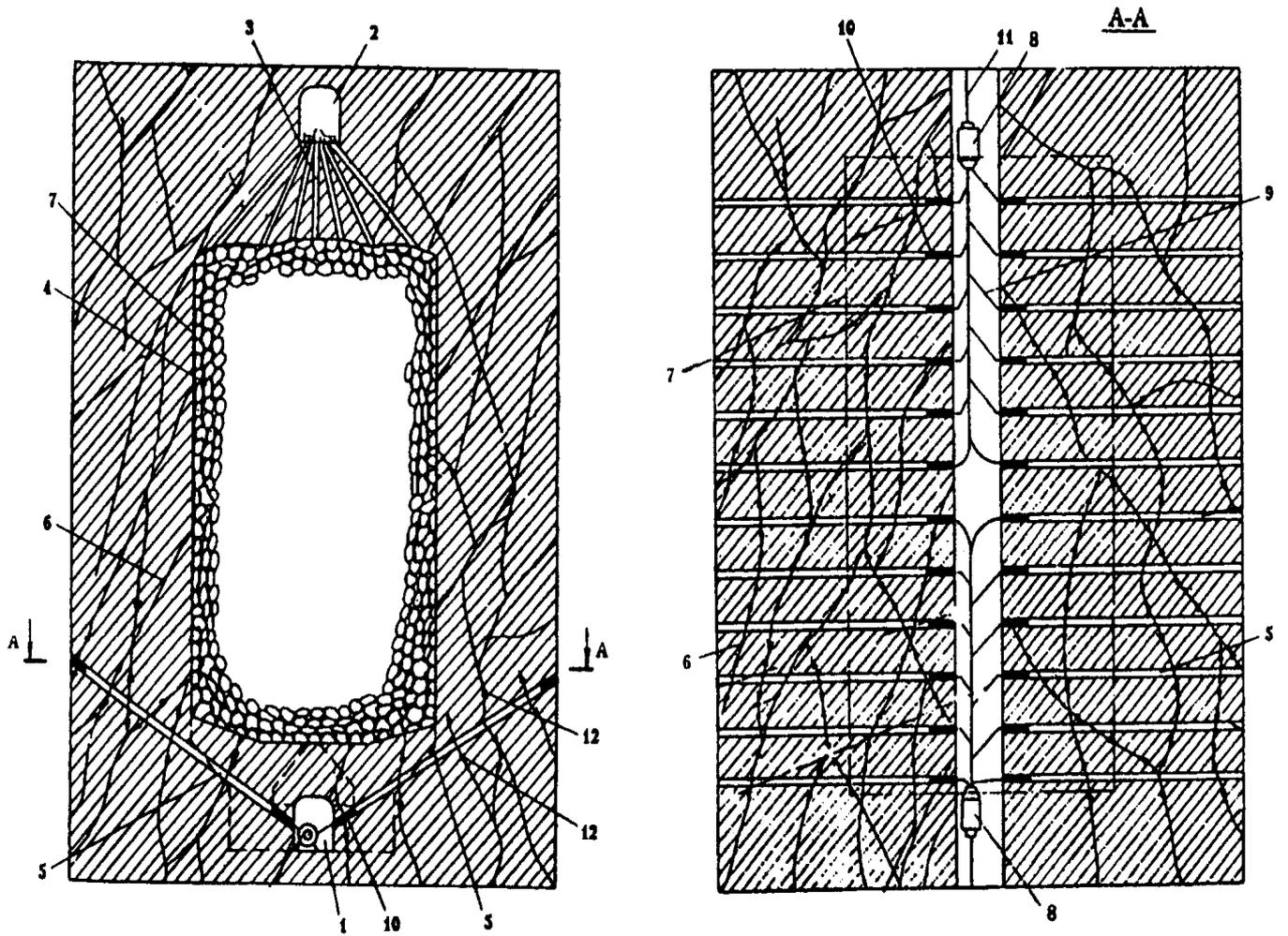


Рис. 5. Схема шахтного выщелачивания с использованием пневмобарьера  
 1 – дренажный штрек; 2 – вентиляционный штрек; 3 – скважины подачи раствора; 4 – орошаемая замагазинированная руда; 5 – скважины пневмобарьера; 6 – трещины; 7 – контуры блока выщелачивания; 8 – пневмоимпульсные установки; 9 – пневмопривод; 10 – герметичный штуцер; 11 – общешахтная сеть сжатого воздуха; 12 - трещины

### Третье защищаемое научное положение

Для организации добычных работ с погашением выработанного пространства закладкой необходимо оценить устойчивые размеры потолочин выработок, созданных из разнопрочных пачек закладки, нижняя часть которой является прочной и несущей, а верхняя, основная часть – заполняется сухими или жидкими отходами, измельчённой породой с малым количеством вяжущих веществ. Для локализации, ликвидации негативных техногенных воздействий на окружающую среду и для последующего использования подземного пространства в сложных горно-геологических и геоэкологических условиях - необходимо организовать заблаговременное сооружение пространственных опорных конструкций из твердеющей закладки.

Для добычи руд на магматогенно-метасоматических, например, гидротермальных месторождениях, в любых самых сложных горно-геологических условиях успешно применяются системы разработки с закладкой, в основном твердеющей (см. табл. 1). Ограничение по применению таких систем фактически только одно - высокая стоимость возведения закладочного массива. Решить эту проблему можно, применяя разнопрочную закладку во всех без исключения случаях - и при нисходящей (восходящей) слоевой выемке и при добыче руды камерами с последующей их закладкой. При этом основной объём закладываемых пустот (который может рассчитываться по минимальным последствиям обрушений пород - см. первое защищаемое научное положение) всегда погашается малопрочной закладкой.

Для камерных и слоевых систем разработки с твердеющей закладкой, на основе оценки запредельной несущей способности разнопрочной искусственной потолочины (а.с. СССР № 1475253), разработана методика выбора устойчивых размеров потолочин и днищ камер, кровли слоевых выработок, прочности и мощности пачек закладки, вида и параметров крепи, реализованная в прикладных компьютерных программах («Прочность» и «Устойчивость»). Методика, в отличие от известных, учитывает процесс твердения массива (седиментацию и фильтрацию, слоистость и однородность), деформационные и реологические свойства, степень ослабления прочности закладки, механизм передачи нагрузки от пачки к пачке, от слоя к слою и продолжительность работы под нагрузкой искусственного массива. В ходе исследований определена корреляционная связь модуля деформации и прочности искусственной потолочины на одноосное сжатие на упругой и пластической стадиях работы, с коэффициентом линейной корреляции - от 0,65 до 0,85 и степенью надёжности - от 4,7 до 10,3.

Теоретическое исследование механизма деформирования искусственных массивов основано на решении задач предельного сопротивления материалов с учётом факторов фактического формирования и твердения массива, при этом автором получены два новых коэффициента – функций влияния на несущую способность массива **слоистости** ( $K_{сл}$ ) и **угла падения боков** выработки  $K_y$  - см. формулы (19 и 29...31). За расчётную схему принята плита-потолочина, samozащемлённая в неровностях боков выработки, покрытых пылью. Под нагрузкой, изгибаясь, плита (на упругой стадии работы) сначала даже

повышает свою устойчивость за счёт появления «арочного эффекта самораспора». Затем (на пластической стадии работы) плита постепенно теряет свою устойчивость по мере появления, роста, и раскрытия трещин, т.е. до появления пластических шарниров сначала на опорах, а затем и в середине пролёта. Образование в сжатой зоне сечения плиты пластических шарниров происходит при определённой величине **высоты зоны смятия**.

Подача твердеющей закладки в выработанное пространство, как показывает опыт, происходит с аварийными перерывами, поэтому массив формируется слоистым, причём высота отдельной пачки редко достигает 1,5 м. Поэтому автором предлагается коэффициент **влияния слоистости** массива на несущую способность изгибаемой потолочины ( $K_{сл}$ ):

$$K_{сл} = \frac{\sigma_{сл}}{\sigma_{мон}} = \frac{1}{n^2} \left[ 1 + \frac{(n-1)^2}{3} \right] \quad (19)$$

где  $\sigma_{сл}$  и  $\sigma_{мон}$  – прочность на сжатие соответственно слоистого и монолитного массива, МПа;  $n$  – количество отдельных слоёв в пачке твердеющей закладки.

Т.к. искусственная потолочина практически всегда формируется слоистой, а наивысшие напряжения испытывает самый нижний слой (пачка), то именно эту пачку следует заранее формировать наиболее прочной, а остальной массив закладки – малопрочной (сухие или жидкие отходы, измельчённые породы с малым количеством вяжущих веществ). Обоснованы эмпирико-теоретические формулы для расчёта необходимой прочности ( $\sigma$ ) **различных вариантов искусственной потолочины** на предельной стадии деформирования - для нисходящей слоевой и камерной системы разработки (подтверждённые результатами физического моделирования на натуральных и на оптически-активных материалах):

1) разнопрочная по высоте закладка

- для нижнего несущего слоя (**нижняя пачка**)

$$\sigma_{сж}^н = \left[ 3,27 \frac{\gamma(h_n + 0,5h_v)B^2}{h_n^2} + \frac{\gamma(h_n + 0,5h_v)}{5} \right] \frac{K_{зап}}{\lambda}, \quad \text{МПа} \quad (20)$$

- для верхнего малопрочного слоя (**верхняя пачка**)

$$\sigma_{сж}^в = \gamma(2h + h_v) \frac{K_{зап}}{\lambda}, \quad \text{МПа} \quad (21)$$

2) частичная (неполная) закладка, т.е. верхней пачки нет

$$\sigma_{сж} = 0,0654 \frac{B^2}{h_n} \frac{K_{зап}}{\lambda}, \quad \text{МПа} \quad (22)$$

3) частично - твердеющая (нижняя пачка), частично - сухая или гидравлическая закладка (верхняя пачка)

$$\sigma_{сж}^H = 3,27 \left[ \frac{(\gamma_H h_H^2 + \gamma_B h_B^2) B^2}{h_H^3} \right] \frac{K_{зап}}{\lambda}, \text{ МПа} \quad (23)$$

4) разнопрочная трёхслойная закладка (нижняя, средняя, верхняя пачка)

$$\sigma_{сж}^H = \left[ \frac{1,64\gamma(h_H + h)hB^2}{3h^2(h_H + 0.5h_B) - 6h(h_H^2 + 0.5h_B^2) + 4(h_H^3 + 0.5h_B^3)} + \frac{\gamma(h_H + h)}{10} \right] \frac{K_{зап}}{\lambda} \quad (24)$$

$$\sigma_{сж}^c = \gamma(2h + h_c + h_B) \frac{K_{зап}}{\lambda}$$

$$\sigma_{сж}^B = \left[ \frac{0,37\gamma(h_H + h)hB^2}{3h^2(h_H + 0.5h_B) - 6h(h_H^2 + 0.5h_B^2) + 4(h_H^3 + 0.5h_B^3)} + \frac{\gamma(h_H + h)}{10} \right] \frac{K_{зап}}{\lambda}$$

5) несущая пачка закладки, армированная сеткой Рабица и стержнями, уложенными на почву выработки в поперечном направлении:

$$\sigma_H = \left[ \frac{\gamma HB^2}{12} - h_H \left( R_a^I F_a^I + R_a^{II} F_a^{II} \right) \right] \frac{4}{H^2} \frac{K_{зап}}{\lambda} \quad (25)$$

где  $h$  - высота массива закладки, м ;  $h_H, h_B$  - толщина нижней, верхней пачки закладки, м ;  $B$  - пролет обнажения искусственной кровли, м ;  $\gamma, \gamma_H, \gamma_B$  - удельный вес закладки в целом, её нижней и верхней пачки, МН/м<sup>3</sup>;  $k_{зап}$  - коэффициент запаса;  $\lambda$  - коэффициент ослабления прочности закладки в массиве, зависящий от десятка параметров (в диссертации проведена таблица сводной ведомости, по которой их можно отыскать), по сравнению с прочностью её в образцах: а) для слоевых систем  $\lambda = 0.2 \dots 0.6$ ; б) для камерных систем  $\lambda = 0.1 \dots 0.8$ ;  $R_a^I, R_a^{II}$  - сопротивление растяжению несущей арматуры и вспомогательной сетки Рабица, МПа;  $F_a^I, F_a^{II}$  - площади сечения несущей арматуры (стержни) и сетки Рабица, приходящиеся на 1 м длины выработки, м<sup>2</sup>.

**Максимальные значения напряжений и предельного прогиба** (по прогибу -  $v$  - маркшейдера могут контролировать степень устойчивости потолочины) в середине пролёта на **упругой стадии** работы материала закладки с учётом коэффициента ослабления прочности равны:

$$\sigma = \left( \frac{3 q L^2}{4 h^2} + \frac{q}{5} \right) \frac{1}{\lambda} , \text{ МПа} \quad (26)$$

$$\upsilon = \frac{12q}{E h^4} \left( \frac{5L^4 h}{384} + \frac{29L^2 h^3}{480} \right) , \text{ м}$$

где  $q$  – внешняя нагрузка на погонный метр потолочины, МН/м;  $L$  – пролёт обнажения потолочины, м;  $E$  – модуль деформации материала закладки, МПа.

Полученные дополнительные напряжения и прогиб можно объяснить **самораспором** плиты в опорах при её изгибе, ведь бока препятствуют расширению плиты, но не препятствуют её повороту на опорах.

Для камерной системы разработки, с возведением в днище каждой камеры несущего перекрытия и погашением остального пространства сухой или гидравлической закладкой, **на предельной стадии** деформирования мощность несущей потолочины ( $h$ ) должна быть по двум перпендикулярным осям не менее:

$$h_z = \sqrt{\frac{147 q (a^2 + \nu b^2) a^2 b^2}{24 (7a^4 + 4a^2 b^2 + 7b^4) \sigma_p^M}} , \text{ м} \quad (27)$$

$$h_y = \sqrt{\frac{147 q (b^2 + \nu a^2) a^2 b^2}{24 (7a^4 + 4a^2 b^2 + 7b^4) \sigma_p^M}} , \text{ м}$$

где  $a$  и  $b$  – пролёты камеры в двух осях, м;  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $\sigma_p^M$  - предел прочности материала закладки в массиве на растяжение, МПа.

Рассмотрев механизм передачи нагрузки от верхней малопрочной пачки на нижнюю несущую пачку, фактически представляющую собой «упругое основание» для верхней, автором установлено, что немалую часть веса верхней пачки воспринимают на себя бока выработки. На нижнюю пачку передаётся лишь оставшаяся часть веса верхней пачки, причём по некоторой эллиптической зависимости (рис. 6). Например, для пролёта  $L = 4$  м и соотношения модулей деформации нижней и верхней пачки в пределах  $E_n : E_b = 5 : 1 \dots 20 : 1$  величина максимального изгибающего момента в середине пролёта нижней пачки уменьшается за счёт этого эффекта на 46,8...46,6 % по сравнению с ожидаемой величиной момента. С практической стороны это означает возможность значительного уменьшения требуемой прочности нижней несущей пачки, т.к. расчёты минимальной прочности несущей пачки можно производить не на полный вес закладки и столба пород до поверхности (как это обычно делается), а лишь на собственный вес нижней пачки и половину веса верхней пачки ( $\Sigma q$ ):

$$\Sigma q = \gamma * (h_n + 0,5 * h_b) , \text{ МН/м} \quad (28)$$

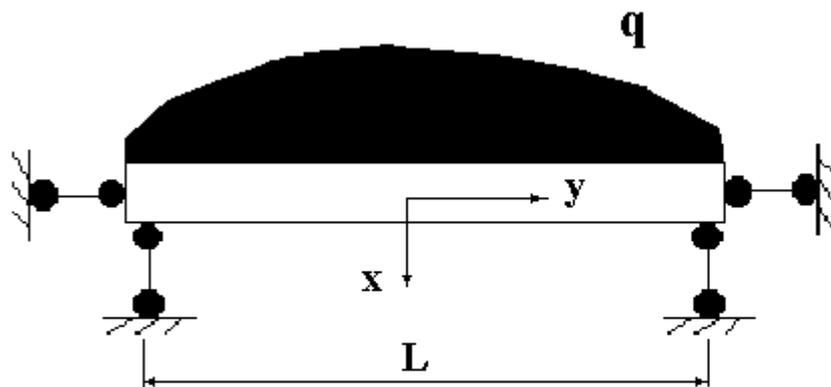


Рис. 5. Схема нагружения потолочины внешней распределённой нагрузкой  $q$

Таким образом, для различных вариантов технологии добычи руды с твердеющей закладкой автором разработана математическая модель, позволяющая усовершенствовать организацию добычи руды с закладкой, получить рациональные параметры - минимально-необходимой прочности, предельных обнажений искусственной кровли очистных заходок, несущей потолочины камер, боковых обнажений погашенных выработок, размеров подкарьерного целика. Методика позволяет не только ещё на стадии проектирования существенно снизить затраты на систему разработки, но и при очистной выемке оценить устойчивость кровли и выбрать крепь.

Для дополнительного снижения расходов на закладку предлагается всегда использовать комплексное золо-шлако-цементное вяжущее с его дезинтеграторной активацией и размолем в специальной установке, а при наличии карбонатных пород в отвалах – использовать их для закладки с орошением её в камере кислотой, для получения некоторого объёма гипса, обладающего собственной прочностью (до 3 МПа) и увеличивающего при этом свой объём (на 15...20%). Также в качестве ПГС в составе закладки (как нижнего несущего слоя, так и верхнего малопрочного) можно использовать обезвоженные хвосты обогащения и размолотые пустые породы из отвалов.

Для последующего использования подземного пространства на действующих и отработанных шахтах и рудниках, а также для эффективной добычи руды единой унифицированной системой разработки на различных, дифференцированных по устойчивости, участках горного массива разработана методика выбора неизвестных ранее технологических схем сооружения **пространственно-ориентированных опорных конструкций** (из разнопрочных твердеющих массивов), с учётом фактических горно-геологических условий: разломов, трещиноватости, зон обрушения, опорного горного давления.

Практически все магматогенно-метасоматические, например, гидротермальные месторождения цветных, редких и радиоактивных металлов

весьма структурно неоднородны и отличаются чередованием зон нагружения и разгрузки, что приводит к необходимости применять разные системы разработки в различных по устойчивости зонах рудного тела. Проведя геомеханический анализ возможных схем взаимодействия горного и закладочного массива, можно **заранее** подобрать варианты приведения «разнопрочных» зон горного массива в равноустойчивое состояние – за счёт создания в вертикальной и в горизонтальной плоскостях несущих конструкций из твердеющей закладки. В диссертации обоснована математическая модель расчёта параметров типовых элементов опорных конструкций - сплошной или облегчённой потолочины, подпорной стенки, шатра (а.с. СССР № 1603885), из которых можно собрать несущую пространственную конструкцию, применительно к любым участкам горного массива, при этом в зонах повышенного опорного давления создавая взрывами зоны дробления и разгрузки.

Подобным образом массив заблаговременно подготавливается для очистной выемки **единой** для месторождения, наиболее производительной и экономически выгодной системой разработки, заранее повышается безопасность труда рабочих, что приводит к снижению себестоимости добычи, сокращению травматизма, при этом на горнорудном предприятии нет необходимости иметь множество **разнообразного** и дорогостоящего оборудования. Кроме того, таким же образом можно укрепить блок, в котором в дальнейшем будет размещаться, например, подземное производство (авторская систематизация осваиваемых подземных пустот приведена в табл. 2). Организация последующего использования подземного пространства для целей выщелачивания металла из бедной и забалансовой руды в зонах обрушения и в камерах, для хранения радиоактивных и других токсичных отходов, утилизации отходов и иных целей - приведена в диссертации.

Разработана математическая модель потери статической устойчивости горной выработки в целом, в зависимости от всех её геометрических параметров (длина, ширина и высота), поля напряжений, свойств горного и закладочного массива, угла падения боков и наличия разломов. Обоснован расчёт неизвестного ранее общего коэффициента **статической** устойчивости подземной полости с вертикальными и наклонными боками (фактически – коэффициента запаса устойчивости). Предлагаемый подход выгодно отличается от известных методик возможностью оперативно оценить статическую устойчивость **полости в целом** на любой стадии выемки руды, а не отдельно по кровле и отдельно по бокам (как у других авторов). Такой геомеханический анализ позволяет заранее, оценкой вариантов возможных технологических схем и организации работ, подобрать оптимальные по устойчивости и по горным возможностям размеры полостей - длину, ширину и высоту очистного пространства.

### Систематизация осваиваемых подземных пустот

1. По назначению
<p>а) промышленные: заводы и лаборатории, энергетические установки, обогатительные фабрики, ёмкости-перколяторы<sup>1</sup>...</p> <p>б) сельскохозяйственные: хранилища пищевых запасов, силосные ямы, выращивание грибов (вешенка, шампиньоны)...</p> <p>в) оборонные: заводы, укрытия для людей и техники, пусковые ракетные установки, аэродромы...</p> <p>г) хранилища и могильники:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- хранилища нефти, газа, продовольственных и других стратегических запасов, резервуары для забалансовой руды и хвостов обогащения;</li> <li>- могильники бытовых, токсичных, химических и радиоактивных отходов;</li> </ul> <p>д) культурологические: подземные торговые и бизнес центры, гаражи, убежища, музеи, транспортные магистрали, инженерные коммуникации...</p> <p>е) медицинские: гала-спелео-терапия в солях, радоновые ванны...</p>
2. По продолжительности использования пустот
<p>а) долговременные, более 50 лет;</p> <p>б) средней продолжительности, 20-50 лет;</p> <p>в) малой продолжительности, менее 20 лет.</p>
3. По значимости
<p>а) высшая категория охраны, не допускает никаких деформаций полости;</p> <p>б) средняя, допускает малые деформации стенок, кровли и почвы полости;</p> <p>в) малая, допускает деформации.</p>
4. По местоположению
<p>а) в городских условиях, например, катакомбы;</p> <p>б) в сельской местности, например, естественные пещеры;</p> <p>в) на заброшенных шахтах и рудниках;</p> <p>г) на действующих шахтах и рудниках.</p>
5. По технологии поддержания устойчивости пустот
<p>а) естественное поддержание;</p> <p>б) полости, постоянно заполненные материалом (хранилища, могильники, перколяторы);</p> <p>в) крепление кровли, стенок и почвы полости;</p> <p>г) управление несущей способностью горного массива: разгрузка напряжённых зон массива, инъецирование вяжущими растворами слабых зон, сооружение пространственно-ориентированных опорных конструкций, заполнение неиспользуемых пустот обрушением пород или искусственными материалами (сухая, гидравлическая или твердеющая закладка, породы из отвалов, хвосты...).</p>
6. По масштабности, разветвлённости и глубине расположения

<sup>1</sup> **Перколяция** – просачивание раствора через значительный слой раздробленной руды, используется при кучном выщелачивании и при обогащении при скорости просачивания от 2 до 8 см/час. **Перколяторы** – специальные чаны с подающим рабочий раствор и отводящим продуктивный раствор трубопроводом.

- а) малые пустоты с широкой разветвлённостью на небольшой глубине;  
 б) средних и больших размеров пустоты, изолированные друг от друга, на средней глубине;  
 в) средних и больших размеров пустоты, никак не связанные друг с другом, на большой глубине.

Коэффициент статической устойчивости полости с **вертикальными боками** равен:

$$K_y^{90} = \frac{0.25 \sigma_{сж}^{xp} \operatorname{tg} \psi^{xp} \pi \sqrt{0.5 h_c (B + 2 H_3 \operatorname{tg} \psi^6)} + H_3 * \left\{ \left[ \frac{2/3 \gamma h_c (B + 2 H_3 \operatorname{tg} \psi^6) + \sin \psi^6 \operatorname{tg} \psi^6 \cos \psi^6}{2 * H_3} + c^6 \right] + k_0 \sigma_{сж}^6 d_1^6 \right\}}{1 + \xi \operatorname{Ln} \frac{d_2^{xp}}{d_1}} + \frac{3}{2} \gamma h_c (B + 2 H_3 \operatorname{tg} \psi^6) + \gamma^6 H_3^2 \operatorname{tg} \psi^6 \quad (29)$$

Коэффициент статической устойчивости полости с **наклонными боками** связан с коэффициентом устойчивости вертикального обнажения  $K_y^{90}$  зависимостью:

- по висячему боку

$$K_y^B = \frac{K_y^{90}}{1 + \frac{1}{\left(1 + \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{ctg} \alpha}\right)}} + \frac{\sin \psi \operatorname{tg} \varphi}{2 + \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{ctg} \alpha}} \quad (30)$$

- по лежащему боку

$$K_y^L = \frac{K_y^{90}}{1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{ctg} \alpha}\right)}} - \cos \psi \operatorname{tg} \varphi \operatorname{ctg} \alpha \quad (31)$$

где  $\psi$  - угол падения плоскости сдвига (скольжения), равный  $\psi = (45 - 0,5 * \varphi)$ , град., рассчитывается отдельно по породам и по закладке;  $\varphi$  - угол внутреннего трения, град., отдельно по породам и закладке;  $\gamma$  - удельный вес материала среды (порода или закладка),  $\text{МН/м}^3$ ;  $\sigma_{сж}$  - предел прочности образцов на одноосное

сжатие, МПа, отдельно по породам и по закладке; **A**, **B** и **H** — длина, ширина и высота выработки, м; **h<sub>c</sub>** — высота свода давления, м.

Чем выше требования к устойчивости, например, повторно используемых пустот, и чем больше длительность их существования, тем выше должен быть и коэффициент статической устойчивости подземной полости.

В диссертации и в автореферате приведён комплекс методик расчёта параметров устойчивости обнажений искусственного и породного массивов, искусственных полостей в целом, напряжений, деформаций и сдвижений во вмещающем массиве пород (см. первое научное положение), разработаны конструкции опорных сооружений с расчётом типовых элементов. Все эти наработки автора могут быть использованы для оценки размеров подземных сооружений и продолжительности устойчивого их состояния при последующем использовании подземного пространства.

При промышленном внедрении технологии погашения слоевых выработок разнопрочной твердеющей закладкой на месторождениях «Стрельцовского» поля ППГХО был достигнут экономический эффект в 2 руб./м<sup>3</sup>, и по сравнению с базовым вариантом добычи руды с постоянной прочностью закладки себестоимость добычи уменьшилась в 1,2 раза. При опытно-промышленном внедрении пространственно-ориентированных конструкций на месторождении «Грачёвское» ЦГХК экономический эффект составил 0,08 руб./м<sup>3</sup>, что эффективнее базового варианта (сплошная несущая потолочина из слоёв равнопрочной закладки) в 1,84 раза. При испытании методики оценки статической устойчивости выработок на месторождении «Грачёвское» условный ущерб от разубоживания руды составил 0,4...4,2 руб./м<sup>3</sup> и от потерь руды 89...180 руб./м<sup>3</sup> (при использовании методики обрушения камер можно было избежать).

Более точную оценку величин деформаций и опорного горного давления вблизи очистных выработок и полостей, погашенных закладкой можно произвести лишь численными методами, таким же образом можно оценить последствия извлечения руды и повторного использования подземного пространства (см. первое защищаемое научное положение). Нагрузки на закладку с учётом стадийности работ определяются расчётами совместных перемещений налегающих пород и собственных деформаций закладки на основе теории упругости, ползучести и механики сплошной среды (см. третье научное положение).

#### **Четвёртое защищаемое научное положение**

Методологические принципы организации выбора оптимальных технологий освоения месторождений с последующим использованием подземного пространства должны базироваться на поэтапном **геомеханическом анализе** последствий извлечения руды и последующего использования подземного пространства, а также на **эколого-экономическом анализе** эффективности предлагаемых технологических мер, включающих оценку величин горного

давления, сдвижений и деформаций объектов горной охраны, зон концентрации напряжений и разгрузки, обрушений пород, продолжительности устойчивого состояния полостей, **выбор технологии добычи руды** и необходимых для стабилизации качества **объёмов добычи** разносортной руды по блокам и забоям, а также экономическую оценку природоохранных мер.

Разработанная методология выбора организации освоения сложноструктурных месторождений с последующим использованием подземного пространства основывается на комплексном **геомеханическом анализе** последствий извлечения руды (величин горного давления, сдвижений и деформаций объектов горной охраны, зон концентрации напряжений и разгрузки, обрушений пород, продолжительности устойчивого состояния полостей), включающем:

а) прогноз геомеханических последствий ведения очистных работ в блоке, выбор рациональных размеров, мест заложения, последовательности и продолжительности ведения горных работ на основе построения изолиний полей напряжений, деформаций, сдвижений и подсчёта коэффициента статической устойчивости выработок, показателя сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды;

б) оценку несущей способности, удароопасности рудных (межкаскадных и внутриблоковых) и искусственных целиков с учётом параметров ползучести;

в) выбор достаточного объёма погашения пустот закладкой различного вида, обоснование возможности изоляции полостей и использования разнопрочной закладки;

г) разработку мероприятий по предотвращению и локализации обрушений в блоках, включающих сооружение несущих конструкций защитной потолочины, подпорных стенок и объёмной искусственной решетки (природоохранные меры).

Стабилизация качества рудной массы на горнорудных предприятиях, особенно при добыче многокомпонентной руды, обычно поддерживается за счет механического перемешивания объёмов руды с различным содержанием металла в штабелях руды на складе или в смесительных бункерах в строго дозированной пропорции. Другой, обосновываемый в диссертации автором вариант, заключается в **планировании объёмов добычи по забоям (блокам)**, чтобы уже по руднику в целом получать руду требуемого качества, тогда нет необходимости в усреднительном складе руды и в по-забойной сортировке.

**Методология выбора** организации освоения недр, элементы которой можно использовать для принятия решений по любому техногенному преобразованию недр (добыча руды, угля, подземное строительство, сооружение хранилищ, могильников...), заключается в следующем:

1) системный анализ последствий добычи руды на различных иерархических уровнях:

- на региональном – определение свойств и особенностей поведения горного массива в масштабе района размещения рудника по всему промышленно-территориальному комплексу, с учётом геодинамики, неотектоники района, крупных тектонических швов и разломов;

- на рудничном – определение свойств горного массива в масштабе промплощадки рудника, с учётом свойств отдельных пород, расположения

стволов и горизонтов, вскрытия и порядка отработки залежей, системы подготовительных выработок, сдвижений массива и нарушения поверхности, зон разгрузки и концентрации напряжений;

- на забойном – определение особенностей пород в масштабе очистных блоков и проходческих забоев, с учётом параметров систем разработки, подготовки, нарезки блоков, последовательности очистной выемки и погашения пустот, проявлений горного давления и прочего.

2) выбор экономически оптимальных основообразующих технических решений:

- способа разработки;
- способа вскрытия;
- систем разработки;
- методов управления горным давлением;

3) анализ существующего технологического процесса:

- определение годовой производительности рудника, блоков;
- определение рациональной нагрузки на забой, блок;
- расчёт движения пустот;
- оценка размеров выработок, целиков, устойчивости закладки;
- расчёт показателей выпуска для систем с обрушением.

4) обоснование предложений по комплексному совершенствованию работы горнодобывающего предприятия, повышению качества горных работ, по использованию подземного пространства, анализ правомерности переноса известных горно-технологических решений в новую геологическую среду.

Известная в отдельных элементах методология наполнена автором комплексом конкретных методик и прикладных компьютерных программ, направленных на обоснование выбора эффективных технологий разработки сложноструктурных месторождений с последующим использованием подземного пространства.

Все методики автора объединены **комплексом прикладных компьютерных программ**, служащих одной цели - позволяют выбирать заранее в проекте или уже в ходе очистных работ эффективную организацию и технологию добычи руды на месторождениях:

1) выбор способа разработки, где рассматриваются варианты добычи руды открытым, подземным и комбинированным способом, с кучным, подземным выщелачиванием и с переработкой руды на обогатительной фабрике;

2) выбор рациональной производительности по забою, блоку на основе обеспечения стабильности качества разносортной рудной массы;

3) выбор системы разработки, объёмов и местоположения изолируемых пустот, вида закладки на основе прогноза сдвижений объектов горной охраны;

4) выбор системы разработки, размеров выработок, целиков, прочности закладки, порядка и скорости ведения горных работ на основе прогноза НДС подработанного массива;

5) выбор системы разработки, размеров выработок, породных целиков, прочности искусственных массивов на основе прогноза удароопасности;

7) выбор параметров днища камер, режима выпуска для систем разработки с массовым обрушением на основе прогноза показателей извлечения рудной массы.

В целом же, авторские и находящиеся в нашем распоряжении прикладные компьютерные программы, позволяют решать следующие **задачи организации добычи руды**:

1. Селективная выемка разных сортов руды: отдельная отбойка, доставка к разным рудоспускам, разделение рудопотоков при откатке...

2. Управление объёмами добычи по забоям и блокам для поддержания требуемого качества разносортного сырья путём его усреднения.

3. Выемка маломощных жильных месторождений слоевыми системами разработки или вертикальными прирезками по простиранию, при этом используются следующие приёмы управления качеством:

- снижение ширины очистного пространства за счёт перехода на менее мощную очистную технику (выбор оптимальной ширины очистного пространства для системы со шпуровой отбойкой из магазина руды);

- уменьшение разубоживания за счёт применения крепления и оптимизации режима выпуска отбитой руды из камер (режим и параметры выпуска при камерных системах);

- оконтуривание неизвлекаемых породных и забалансовых участков;

- применение двухстадийной селективной выемки;

- использование радиометрической забойной сортировки;

- применение щелевой отбойки...

4. Сортировка руды на разных стадиях разработки: от ручной рудоразборки до по-кусковой сортировки на радиометрической обогатительной фабрике.

5. Управление качеством руды при скважинной отбойке сложных рудных тел:

- оставление в камерах породных прослоев неотбитыми ;

- селективная отбойка сортов руды;

- щелевая отбойка руды сближенными скважинами...

6. Управление качеством руды при выпуске её под обрушенными породами:

- опробование руды по дозам выпуска;

- выбор рациональных расстояний между воронками;

- равномерно-последовательный режим выпуска из дучек камеры;

- выбор рациональных параметров БВР для регулирования показателя сыпучести отбитой руды...

7. Управление показателями извлечением руды:

- использование высокоэффективной нисходящей слоевой выемки с разнопрочной твердеющей закладкой (выбор параметров крепи и закладки);

- своевременное заполнение выработанного пространства закладкой (обоснование необходимости погашения пустот, объёма и вида закладки);

- определение устойчивых обнажений массива, порядка очистной выемки;

- выбор параметров безопасных обнажений камер и размеров рудных или искусственных целиков при добыче руды на больших глубинах в удароопасных породах;

- заблаговременное приведение любого неоднородного горного массива в равноустойчивое состояние созданием в вертикальной и в горизонтальной плоскостях несущих конструкций из твердеющей разнопрочной закладки.

8. Заблаговременный выбор оптимального способа отработки месторождения (подземным или открытым способом, с подземным, кучным выщелачиванием или с обогащением на фабрике).

При этом наблюдения за реакцией природной среды составляют основу геофизического, геомеханического и биологического **мониторинга**. К геофизическому мониторингу относятся определение небиологической реакции среды (эрозия, климат и т.п.), к геомеханическому – оценка устойчивости горных выработок, напряжений, сдвижений пород и земной поверхности, к биологическому – определение реакции организмов (флоры, фауны) на антропогенное воздействие человека.

**Оценка эколого-экономической эффективности** предлагаемых технологических схем, с учётом мер по поддержанию экологического равновесия окружающей среды и оптимизации параметров рудника раскрывается следующей последовательностью действий:

- 1) анализ горно-геологических и горнотехнических условий шахтного поля;
- 2) конструирование вариантов технологических схем рудника;
- 3) установление номенклатуры качественных и количественных переменных параметров рудника, ведения горных работ, установление диапазона изменения независимых количественных параметров;
- 4) построение технологического графа (блок-схемы) вариантов организации добычи и установление при этом совместимости проектных решений с учётом обоснованных ограничений;
- 5) формирование системы ограничений применения тех или иных решений, качественных или количественных параметров;
- 6) обоснование критерия оптимальности и установление номенклатуры затрат, связанных с реализацией вариантов;
- 7) составление развернутого выражения целевой функции в зависимости от горно-геологических характеристик, параметров рудника и стоимостных величин;
- 8) разработка алгоритма расчета модели, определение количественных параметров по руднику;
- 9) анализ наиболее экономичных вариантов и рекомендация оптимальных параметров для разработки технического проекта.

При этом экономические расчёты включают:

- определение инвестиционных затрат на строительство предприятия и размера производственных фондов на момент сдачи предприятия в эксплуатацию;
- расчёт эксплуатационных и удельных инвестиционных затрат на 1 т добытой рудной массы;
- расчёт себестоимости продукции, прибыли, уровня рентабельности производства;
- расчёт по обоснованию технико-экономических показателей работы предприятия (по показателям эффективности инвестиционных проектов - чистому

дисконтированному доходу  $NPV$ , индексу доходности  $PI$  и сроку окупаемости инвестиций  $t_{ок}$ );

- сравнение технико-экономических показателей (результатов, полученных при проектировании, с реальными проектами новых предприятий, с существующим рудником, по которому ведётся проектирование, с лучшими предприятиями отрасли и т.п.).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации даны научно обоснованные технические, технологические и экономические решения - по геомеханическому обоснованию выбора безопасной и эффективной технологии подземной добычи руды на сложноструктурных месторождениях, с использованием выработанного пространства как технологических полостей и с анализом эколого-экономических последствий принимаемых технологических решений - имеющей важное хозяйственное значение для повышения эффективности и безопасности освоения сложноструктурных месторождений. Внедрение результатов научно-исследовательской работы вносит значительный вклад в развитие научно-технического прогресса и экономики страны, существенно повышает промышленную и экологическую безопасность подземной добычи руды на сложноструктурных месторождениях.

Основные научные и практические результаты выполненных автором исследований заключаются в разработке эколого-экономических моделей на основе установленных геомеханических закономерностей, а именно:

1. Определены вероятные зоны разрывных нарушений (а значит и зоны возможного оруденения) в вулканической кальдере гидротермальных месторождений, предложен для оценки применимости известных горно-технологических решений в новой геологической среде - показатель сложности геолого-морфологического строения и горно-технологических условий добычи руды в эксплуатационном блоке.

2. Определены закономерности и эмпирио-аналитические зависимости предельно-допустимых пролётов плоской и сводчатой выработки в трещиноватом и слоистом массиве с учётом арочного распора – от свойств среды, трещиноватости, арочного эффекта и характера нагрузок, на упругой и запредельной стадиях деформирования.

3. Предложен комплекс прикладных компьютерных программ (на основе математических моделей) для геомеханического анализа напряжённо-деформированного состояния подработанного горного массива вблизи выработок - с учётом разрыва сплошности среды по геологическим швам, коэффициента объёмности, критерия долговременной устойчивости массивов и с учётом свойств закладочных массивов, несущей способности целиков: по нагрузкам, деформациям и по жёсткости, что особенно актуально на удароопасных участках сложноструктурных месторождений.

4. Обоснована математическая модель и методика расчёта параметров сдвижений горных пород - с учётом кривизны мульды-аналога, скорости процесса оседания, горного давления, тектонических разрывов сплошности – для сферического, цилиндрического источника возмущения, для пластов, камер и

одиночных выработок, - позволяющая в динамике оценивать возможные деформации охраняемых объектов, подбирать вид закладки и объёмы погашения полостей.

5. Установлены математические модели и зависимости показателей извлечения руды на любой момент времени - от размеров выпускного отверстия, от расстояния между дучками, показателя сыпучести, угла падения боков камеры, - для донного и торцевого выпуска руды.

6. Определены закономерности и получены зависимости минимально-необходимой прочности и предельно-допустимого прогиба искусственной потолочины заходок и камер - от параметров обнажения, направления очистной выемки и стадии деформирования, распределения давления малопрочной пачки на несущую пачку, - для разнопрочного массива, для армированной закладки и при частичном погашении одиночных заходок.

7. Обоснован выбор объёмов погашения, изоляции пустот и вида закладочных материалов - в зависимости от параметров разрыхления, компрессионной усадки пород и закладки и от расстояния по восстанию от кровли полости до объекта горной охраны.

8. Определена закономерность и получена зависимость статической устойчивости трёхмерной подземной полости - от геометрических параметров, поля напряжений, тектонических разломов и физико-механических свойств окружающего горного и закладочного массивов, от угла наклона боков камеры.

9. Разработан и обоснован способ профилактического приведения участков неоднородного горного массива в равноустойчивое состояние - за счёт использования опорных пространственно-ориентированных сооружений - для отработки рудной залежи единой унифицированной системой разработки с одинаковыми параметрами обнажений, предложены различные варианты типовых опорных несущих конструкций с их расчётами.

10. Обоснована методика выбора объёмов добычи многокомпонентного сырья по очистным забоям, блокам - для обеспечения стабильности качества выдаваемой рудной массы по сортам.

11. Разработана методология выбора эффективных технологий освоения сложноструктурных месторождений с учётом последующего использования подземного пространства.

12. Предложены, прошедшие промышленные испытания, технологии освоения сложноструктурных урановых месторождений системами с закладкой, с обрушением и с открытым очистным пространством, а также технологии последующего использования подземного пространства.

Разработанная методология выбора организации добычи руды на базе геомеханической оценки позволяет: а) определить наиболее напряжённые и деформированные зоны подработанного горного массива; б) заранее предусмотреть мероприятия по снижению негативного влияния горного давления и сдвижений пород; в) выбрать вид закладки, объёмы погашения и изоляции подземных полостей, особенно в предохранительных зонах рудников; г) заблаговременно и целенаправленно укреплять, изменять свойства и состояние вмещающих массивов - путём создания несущих объёмных конструкций; д)

использовать наиболее эффективную унифицированную систему разработки и планировать объёмы добычи разнородных руд по забоям и блокам; е) оценить эффективность вариантов дальнейшего использования пустот на действующем и отработанном руднике; ж) проанализировать правомерность переноса (применения) известных горно-технологических решений в новую геологическую среду.

Основные выводы и рекомендации, полученные в работе, использованы в практике проектирования гидротермальных месторождений уранодобывающей отрасли (три проекта), на предприятиях ППГХО и ЦГХК, в учебном процессе двух университетов - МГГРУ и МГОУ (30 учебных пособий), в научных статьях и в монографии.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах, рекомендованных ВАК:**

1. Котенко Е.А., Дейнер В.В., Порцевский А.К. Способ возведения закладочного массива. - А.с. № 1475253, 1987.
2. Котенко Е.А., Харитошин П.П., Порцевский А.К. Способ защиты искусственных полостей в горном массиве. - А.с. № 1603885, 1989.
3. Порцевский А.К. Прогноз механизма взаимодействия горного и закладочного массивов на месторождениях. - Журнал "Известия ВУЗов. Геология и разведка", 1998, № 3. - с. 122-130.
4. Порцевский А.К. Оперативное планирование горных работ на горнорудных предприятиях. - Журнал "Известия ВУЗов. Геология и разведка", 1998, № 4. - с. 114-118.
5. Порцевский А.К. Выбор рациональной технологии добычи руд. Геомеханическая оценка состояния недр. Использование подземного пространства. Геоэкология. Монография. - М.: изд. МГГУ, 2003. - 767 с.
6. Котенко Е.А., Порцевский А.К. Технологии освоения месторождений и использования подземного пространства. - «Горный журнал», № 2, 2004. - с. 79-82.
7. Котенко Е.А., Порцевский А.К. Опыт подземной отработки сложноструктурных урановых месторождений СНГ. - «Горный журнал», № 5, 2004. - с. 32-35.
8. Порцевский А.К. Повторное использование горных выработок. Доклад на «Неделе горняка-2004». - Горный информационно-аналитический бюллетень, изд. МГГУ, № 12, 2004. - с. 199-202.
9. Порцевский А.К. Оценка подобия массивов и принцип переноса известных горно-технологических решений в новую геологическую среду. Доклад на «Неделе горняка-2005». - Горный информационно-аналитический бюллетень, изд. МГГУ, № 4, 2005. - с. 215-217.
10. Порцевский А.К. Систематизация признаков сложноструктурных месторождений. - «Горный журнал», № 1, 2006. - с. 30-33.
11. Порцевский А.К. Тектонофизика, рудогенез и геомеханика. - «Маркшейдерский вестник», 2006, № 2.

12. Порцевский А.К. Геомеханический подход к выбору технологии освоения месторождений, горно-технологический аудит. - «Безопасность труда в промышленности», № 7, 2006. – с. 32-25.

**Также основные положения диссертации опубликованы в других работах:**

1. Котенко Е.А., Порцевский А.К. Выбор системы разработки сложноструктурных месторождений с предварительным возведением пространственно-ориентированных конструкций. – Журнал «Горнометаллургическая промышленность», 1988, № 1. - с. 10-14.

2. Котенко Е.А., Бирюков А.П., Порцевский А.К. Использование пространственно-ориентированных опорных конструкций при проектировании отработки сложноструктурных месторождений. – Журнал «Специальные вопросы атомной науки и техники», 1988, № 2. - с. 40-48.

3. Павлов В.А., Беляев Б.М.: Порцевский А.К., Татаринов В.Н. Устойчивость породных массивов при разработке сложноструктурных месторождений. – Журнал «Горнометаллургическая промышленность», 1991, № 1. - с. 7-11.

4. Котенко Е.А., Порцевский А.К. Применение численных методов при решении геомеханических задач на горных предприятиях. – Журнал «Цветная металлургия», 1991, № 10. - с. 15-18.

5. Котенко Е.А., Порцевский А.К. Новый подход к определению статической устойчивости камер. - Журнал «Цветная металлургия», 1991, № 10. - с. 11-15.

6. Котенко Е.А., Порцевский А.К. Управление устойчивостью горного массива закладкой различного вида. – Журнал «Цветная металлургия», 1992, № 1. - с. 7-9.

7. Котенко Е.А., Порцевский А.К. Новое в геомеханическом обосновании устойчивости подземных сооружений. – Журнал «Цветная металлургия», 1992, № 2. - с. 22-24.

8. Порцевский А.К. К вопросу прогнозирования палеонапряжений и рудоносности в вулканических кальдерах. – Журнал «Цветная металлургия», 1992, № 7-8. - с. 35-36.

9. Порцевский А.К. Сдвигение горных пород и выбор способа погашения выработанного пространства. – Журнал «Цветная металлургия», 1993, № 9. - с. 15-17.

10. Порцевский А.К., Анисимов С.Ю. К вопросу определения показателей извлечения руды при донном выпуске под обрушенными породами. – Журнал «Цветная металлургия». 1993, № 10. - с. 7-8.

11. Порцевский А.К. Прикладная компьютерная программа «Сдвигения». Зарегистрирована в ВНТЦ, 2004. Рег. № 50200401123.

12. Порцевский А.К. Прикладная компьютерная программа «Напряжения». Зарегистрирована в ВНТЦ, 2004. Рег. № 50200401124.

13. Порцевский А.К. Прикладная компьютерная программа «Усреднение». Зарегистрирована в ВНТЦ, 2004. Рег. № 50200401125.

14. Порцевский А.К. Прикладная компьютерная программа «Выпуск». Зарегистрирована в ВНТЦ, 2004. Рег. № 50200401126.

15. Котенко Е.А., Порцевский А.К. Организация подземной добычи на сложноструктурных месторождениях с последующим использованием пустот. Тезисы доклада на Международной конференции «Развитие идей М.И.Агошкова в области комплексного освоения месторождений полезных ископаемых» ИПКОН РАН. Сборник докладов, 2005 г., с. 37-39.

16. Милютин А.Г., Андросова Н.К., Калинин И.С., Порцевский А.К. Экология: геоэкология недропользования. Учебник. – М.: Высшая школа, 2006/2007 г. (план издательства).

Полученные в ходе работы над диссертацией новые научные знания использованы автором при составлении следующих **учебных пособий** для студентов по направлениям подготовки - 550600 «Горное дело»,

065100 «Прикладная геология», 650200 «Технология геологической разведки»:

1. Порцевский А.К. Вскрытие и подготовка рудных месторождений. Учебное пособие по курсу лекций и практических занятий для студентов. – М.: МГГА, 1996. - 46 с.

2. Порцевский А.К. Системы разработки при подземной добыче руды. Учебное пособие по курсу лекций для студентов. – М.: МГГА, 1997. - 33 с.

3. Порцевский А.К. Технологические процессы подземной разработки. Учебное пособие по курсу лекций для студентов. – М.: МГГА, 1998. - 37 с.

4. Порцевский А.К. Технологические процессы подземной разработки. Учебное пособие по курсу практических занятий для студентов. – М.: МГГА, 1998. - 41 с.

5. Порцевский А.К. Управление качеством рудной массы. Учебное пособие по курсу лекций для студентов. – М.: МГГА, 1999. - 45 с.

6. Порцевский А.К. Особенности подземной разработки месторождений радиоактивных руд. Учебное пособие по курсу лекций для студентов. – М.: МГГА, 1999. - 38 с.

7. Порцевский А.К. Подземная разработка угольных месторождений. Учебное пособие по курсу лекций для студентов. - М.: МГГА, 1999. - 24 с.

8. Порцевский А.К. Подземная разработка угольных месторождений. Учебное пособие по курсу практических занятий для студентов. – М.: МГГА, 1999. - 44 с.

9. Порцевский А.К. Инструкция по составлению курсового проекта для студентов. – М.: МГГА, 1999. - 25 с.

10. Порцевский А.К. Методические указания по представлению экономических расчётов в технологической и экономической частях дипломного проекта по подземной разработке месторождений полезных ископаемых. – М.: МГГА, 1999. - 39 с.

11. Порцевский А.К., Анистратов Ю.И. Открытые горные работы. Учебное пособие по курсу лекций для студентов. – М.: МГГА, 1999. - 77 с.

12. Порцевский А.К. Системы разработки при подземной добыче руды. Учебное пособие по курсу практических занятий для студентов. – М.: МГГА, 2000. - 112 с.

13. Порцевский А.К. Последовательность выполнения курсового проекта «Подземная разработка рудных месторождений». – М.: МГГА, 2001.

14. Порцевский А.К. Техничко-экономическое сравнение вариантов технологии очистной выемки. – М.: МГОУ, 2002.
15. Катков Г.А., Порцевский А.К. Горное искусство и окружающая среда. Учебное пособие для студентов. – М.: МГОУ, 2004. - 91 с.
16. Катков Г.А., Порцевский А.К., Кусов А.Е. Основы физики горных пород, геомеханики и управления состоянием массива. Учебное пособие с грифом УМО (№ 51-73 от 28.06.2004.) для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5374 от 16.11.2005.)– М.: МГОУ, 2004. - 119 с.
17. Порцевский А.К., Кусов А.Е., Михайлов Ю.В. Технология проведения горизонтальных, вертикальных горных и горно-разведочных выработок. Учебное пособие с грифом УМО (№ 51-74 от 28.06.2004.) для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5373 от 16.11.2005.). – М.: МГОУ, 2004. - 68 с.
18. Катков Г.А., Порцевский А.К. Проектирование горных предприятий. Учебное пособие с грифом УМО (№ 51-75 от 28.06.2004.) для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5372 от 16.11.2005.). – М.: МГОУ, 2004. - 104 с.
19. Порцевский А.К. Вентиляция шахт. Аэрология карьеров. Учебное пособие с грифом УМО (№ 51-76 от 28.06.2004.) для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5368 от 16.11.2005.). – М.: МГОУ, 2004. - 71 с.
20. Катков Г.А., Порцевский А.К., Кусов А.Е. Геотехнология (физико-химическая). Учебное пособие с грифом УМО (№ 51-79/6 от 09.09.2004.) для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5370 от 16.11.2005.). – М.: МГОУ, 2004. - 66 с.
21. Порцевский А.К. Подземные горные работы. Часть 1 и 2. Учебное пособие для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5376 от 16.11.2005.). – М.: МГОУ, 2005. - 77 с.
22. Порцевский А.К. Подземные горные работы. Часть 3 и 4. Учебное пособие для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5376 от 16.11.2005.). – М.: МГОУ, 2005. - 83 с.
23. Порцевский А.К. Безопасность жизнедеятельности при горных и горно-разведочных работах. Часть 1. Учебное пособие для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5369 от 16.11.2005.). - М.: МГОУ, 2005. – 73 с.
24. Порцевский А.К. Безопасность жизнедеятельности при горных и горно-разведочных работах. Часть 2. Учебное пособие для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5369 от 16.11.2005.). - М.: МГОУ, 2005. – 95 с.
25. Порцевский А.К., Р.А.Ганджумян Оптимизация буровых и горно-разведочных работ, планирование эксперимента. - Учебное пособие для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5371 от 16.11.2005.). - М.: МГОУ, 2005. – 70 с.
26. Милютин А.Г., Порцевский А.К., Калинин И.С. Охрана недр и рациональное недропользование при горных и горно-разведочных работах. -

Учебное пособие для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5377 от 16.11.2005.). - М.: МГОУ, 2005. – 130 с.

27. Порцевский А.К. Транспорт при горноразведочных работах. - Учебное пособие для студентов. - М.: МГОУ, 2005. – 64 с.

28. Порцевский А.К. Технологические измерения в геологоразведочном производстве. - Учебное пособие для студентов. - М.: МГОУ, 2005. – 70 с.

29. Порцевский А.К. Физика Земли. - Учебное пособие для студентов. **Зарегистрировано** в Федеральном агентстве по образованию (№ 5375 от 16.11.2005.). - М.: МГОУ, 2005. – 180 с.

30. Вишневецкая Г.И., Порцевский А.К., Андросова Н.К. Экономическая часть в дипломных проектах (работах). Учебно-справочное пособие для студентов. – М.: изд. МГОУ, 2006/2007 г. (план издательства)

Предложенные в диссертации организационные, технические и технологические мероприятия приводят к значительному социальному, экологическому и экономическому эффекту за счёт повышения устойчивости горных выработок и безопасности условий работы горнорабочих, снижения расходов на добычу руды и погашение выработанного пространства, за счёт дальнейшего использования подземного пространства.