

Министерство образования Украины  
Криворожский технический университет

*На правах рукописи*

Гаркушин  
Павел Кириллович

**Комплексное освоение калийных  
месторождений Предкарпатья**

**Специальность — 05.15.02. Подземная  
разработка месторождений полезных  
ископаемых**

**Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
доктора технических наук**

Кривой Рог — 1997

522.272

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00761079 (U)

Диссертационная работа является рукописью

Работа выполнена в Калушском концерне "ОРИАНА"

Научный консультант проф., докт. техн. наук  
вице-президент АГН Украины

Капленко  
Юрий Петрович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, проф.	Усаченко Борис Миронович
доктор технических наук, проф.	Щелканов Владлен Александрович
доктор технических наук	Никонец Виктор Ильич

Ведущая организация - Государственный институт  
горнохимической промышленности Горхимпром, г. Львов

Защита состоится <sup>14 марта</sup> ~~26 февраля~~ 1997г. в 10 ч.  
на заседании специализированного ученого Совета Д 16.01.03  
в Криворожском техническом университете по адресу:  
324002 Кривой Рог, ул. Пушкина, 37

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке  
Криворожского технического университета

Автореферат разослан 7 февраля 1997г

Ученый секретарь  
специализированного Совета  
кандидат технических наук,  
профессор



Фаустов Г. Т.

### Общая характеристика работы.

Актуальность темы. Процесс освоения калийных месторождений Предкарпатья сопровождается непрерывным накоплением подземных пустот и отходов переработки каинито-лангбейнитовых руд на поверхности. К настоящему времени объем выработанного пространства достигает 40 млн.м<sup>3</sup>, на поверхности размещено свыше 30 млн.м<sup>3</sup> галитовых отходов обогащения. Такое положение привело к ряду негативных последствий. Прежде всего это высокий уровень потерь полезного ископаемого при системах с жестким поддержанием кровли - более 50%. С глубиной ожидается их увеличение до 70%. Проникновение пресных вод через водозащитную потолочину в камеры № 115-116, отработанные по пласту №10 на Стебниковском калийном руднике №2 (СтКР-2), относится к числу трудно ликвидируемых последствий при наличии большого объема незаложенных пустот. Аномальные проявления горного давления в виде сосредоточенных провалов земной поверхности наблюдались на устойчивых полях рудника Калуш-Центральном и Северном каинитовом. К значительному плавному оседанию до 3÷5 м и подтоплению земной поверхности привела разработка Северного и Хотинского сильвинитовых полей. В зону опасных сдвижений попало более 40 жилых домов.

В результате размещения на поверхности отходов обогащения, выход которых превышает 0,6т на 1т руды, изъято до 400га полезной площади, происходит интенсивное засоление почв, подземных вод и поверхностных водоёмов, необратимое изменение геологической среды. Прорыв дамбы хвостохранилища на бывшем Стебниковском калийном заводе (ныне Государственном горнохимическом предприятии ГГХП Полиминерал) привёл к крупномасштабному загрязнению окружающей среды. Многочисленные прорывы рассолов через тело дамбы хвостохранилища №1 и сдвиг дамбы хвостохранилища №2 наблюдались на Калушском заводе калийных удобрений. Всего на территории Украины размещено свыше 2000 шламо- и хвостохранилищ, которые представляют потенциальную угрозу для окружающей среды.

Технология подземной добычи каинито-лангбейнитовых руд основана на буровзрывной отбойке и скреперной доставке, характеризуется средним уровнем эффективности. Неравномерная отработка пластов различной мощности привела к существенному снижению технико-экономических показателей работы рудников, невозможность надёжной гидроизоляции выработанного пространства при нисходящей отработке запасов создаёт угрозу для работающих на нижележащих горизонтах в случае прорыва закладочного материала, что наблюдалось на руднике Калуш.

Освоение калийного месторождения Пийло уже на стадии вскрытия привело к неоднократному разрушению тюбинговой крепи и

деформации армировки во вспомогательном стволе, к разрушению бетонной крепи в вентиляционном стволе, арочной податливой крепи в горизонтальных выработках, двухслойной крепи в сопряжениях стволов с приствольными выработками.

Негативные последствия подземной разработки калийных месторождений Предкарпатья и размещения отходов переработки каинито-лангбейнитовых руд на поверхности оцениваются огромным экологическим и экономическим ущербом. Предотвращение таких явлений возможно на основе комплексного подхода к освоению новых калийных месторождений, включающего взаимосвязанное решение вопросов добычи, переработки и размещения отходов обогащения, экономической оценки работы калийно-магниевого производства.

Целью работы является создание системы комплексного освоения калийных месторождений Предкарпатья, обеспечивающей высокую эффективность разработки, надёжность поддержания налегающих пород и земной поверхности, длительную устойчивость горных выработок, экологическую чистоту и безопасность.

Для достижения поставленной цели предполагалось решить следующие задачи: исследовать технологические процессы вскрытия, подготовки и очистной выемки каинито-лангбейнитовых руд, изучить влияние мощности пласта (высоты отбиваемого слоя) на эффективность добычи руды;

выявить механизм разрушения междукамерных целиков и их взаимодействия с закладкой, закономерность распределения нагрузки на междукамерные и барьерные целики;

разработать методику формирования устойчивых геомеханических систем, прогнозирования сдвижения налегающих пород и земной поверхности, установить геомеханические нормативы отработки целиков специального назначения;

создать способы управления напряжённо-деформированным состоянием пород вокруг выработок, аналитические методы для расчёта параметров разгрузки;

разработать методику определения экономической эффективности систем подземной разработки с учётом закладки выработанного пространства.

Основная идея работы заключается в использовании восходящего способа отработки запасов, высокопроизводительных проходческих и добычных комплексов, особенности деформирования жёстких геомеханических систем с учётом закладки выработанного пространства отходами переработки, щелевого и скважинного способов разгрузки приконтурного массива для сохранения длительного эксплуатационного режима горных выработок, узлов сопряжений, сплошности налегающей и водозащитной толщи пород, повышения надёжности калийной шахты как технологической системы в целом и обеспечения экологической безопасности.

Методы исследований. Для достижения поставленной цели в диссертационной работе использован системный подход, включающий анализ, обобщение литературных данных и практического опыта разработки калийных месторождений, аналитические исследования устойчивости очистных и подготовительных выработок с привлечением методов механики подземных сооружений, теории упругости и пластичности; лабораторные исследования физико-механических свойств горных пород и отходов обогащения каринито-лангбейнитовых руд, натурные наблюдения и инструментальные измерения деформации горных выработок, налегающих пород и земной поверхности, метод экономико-математического анализа работы калийно-магниевого производства, методы аналогии, теории подобия, математической статистики. Существенная часть математического аппарата разработана автором.

#### Научные положения, защищаемые в диссертации.

1. Надёжность технологии вскрытия калийных месторождений Предкарпатья скважинами специального назначения обеспечивается за счёт многослойной гидроизоляции основного галечникового водоносного горизонта, соляного зеркала и всей налегающей толщи пород с помощью растворов на основе каустического магнезита, гематита и хлормagneйных рассолов.

2. Равномерная отработка калийных залежей различной и переменной мощности достигается при условии, что средневзвешенные показатели трудоёмкости и себестоимости добычи руды не должны превышать значений для принятой за стандарт вынимаемой мощности в соответствии с предложенной системой управления технологией добычи — технологической моделью отработки месторождения.

3. Повышение несущей способности междукамерных целиков, в том числе нарушенных трещинами и работающих в области запределных деформаций, в результате бокового давления породносухой, монолитной закладки или гидросмесей способствует формированию устойчивых геомеханических систем, обеспечивающих минимальные потери полезного ископаемого и оседание земной поверхности, особенно при восходящей отработке запасов пологонаклонных и крутопадающих калийных залежей.

4. Особенности отработки целиков специального назначения состоят в необходимости повторного тампонажа геологоразведочных скважин с поверхности или из подземных горных выработок, определения безопасной глубины разработки под магистральными железными дорогами, в обосновании применительно к конкретным горно-геологическим условиям мощности водозащитной толщи, в том числе в переходной зоне под дном и от бортов карьера при формировании жёстких геомеханических систем и соблюдении сейсмически безопасных расстояний от места взрыва до объектов первой категории охраны — шахтных стволов, скважин, почвы соляного зеркала.

5. На использовании эффекта поглощения техногенными полостями деформаций ползучести соляных пород основано управление напряжённо-деформированным состоянием вокруг горных выработок с помощью способов щелевой и скважинной разгрузки приконтурных массивов, причём долговечность выработки определяется из условия равенства объёмов смещаемых вовнутрь выработки и поглощаемых техногенными полостями породных масс.

6. Сокращение непроизводительных расходов на 1 т руды в зависимости от изменения количества выемочных запасов и коэффициента технологичности системы разработки составляет сущность механизма рационального использования недр. Эффективность системы разработки в общем случае определяется суммарной экономией средств от повышения извлечения ископаемых солей, сохранения ценной полезной площади, затрат на снос и последующее воспроизводство охраняемых объектов на поверхности, на ликвидацию рудника, непроизводительных расходов на обслуживание отвального хозяйства за вычетом затрат на закладку выработанного пространства.

Научная новизна. В основу методологии вскрытия калийных месторождений Предкарпатья положена многослойная гидроизоляция скважин с помощью колонн труб, перекрывающих водоносный галечниковый горизонт, рассольный горизонт на уровне соляного зеркала и всю толщу налегающих пород с тампонажом затрубного пространства растворами из каустического магнезита, гематита и хлормagneиевых рассолов. Изучена возможность вскрытия калийных месторождений наклонными стволами и автомобильными съездами, штольнями, доказана необходимость восходящей отработки полого-наклонных и крутопадающих калийных месторождений.

Метод исследования технологии добычи путём распределения добытой руды по вынимаемой мощности и по годам, т.е. в пространстве и во времени, позволяет установить изменение средневзвешенной мощности, степень неравномерности отработки месторождения. Разработаны экономико-математические модели трудоёмкости и себестоимости добычи руды по процессам и элементам затрат, установлены нормативы расхода материалов в зависимости от вынимаемой мощности (высоты отбываемого слоя), на основе которых создана система управления технологией добычи калийно-лангбейнитовых руд. Система позволяет обеспечить равномерную отработку запасов месторождения, определить минимально допустимую (кондиционную) выемочную мощность залежей.

В лабораторных и натуральных условиях проведены исследования процесса разрушения междукамерных целикков. Установлено, что несущая способность последних повышается по нелинейному закону в зависимости от отношения бокового давления к пределу прочности материала на растяжение. Боковое сопротивление закладочного материала численно равно условному пределу текучести.

определяемому по диаграмме вдавливания цилиндрического штампа с плоским основанием, и в 2 раза превышает предел прочности закладочного материала на одноосное сжатие.

Изучен механизм распределения нагрузки на междукамерные и барьерные целики в пределах выемочного участка, на основе которого получены аналитические выражения (математические модели) для оценки устойчивости геомеханических систем, сформированных из междукамерных и рудных (естественных) барьерных целиков, комбинированных и закладочных барьерных полос, из междукамерных целиков переменной ширины. Разработана методика прогнозирования сдвижения налегающих пород и земной поверхности в зависимости от запаса прочности междукамерных целиков, изучен механизм возникновения сосредоточенных провалов земной поверхности.

Сформулированы общие условия отработки целиков специального назначения - барьерных, околоствольных, водозащитных, под промышленными объектами, магистральными железными дорогами: сдвижение налегающих пород и земной поверхности должно быть минимальным за счёт оставления междукамерных целиков повышенной жёсткости, взрывоотбойка руды должна производиться на сейсмически безопасном расстоянии от объектов первой категории охраны; причём водоохранные целики обрабатывают после повторного тампонажа геологоразведочных скважин с поверхности или из подземных выработок.

В качестве критерия оценки состояния горных выработок принят комплексный показатель - коэффициент устойчивости, по значению которого можно определить конечную деформацию и величину горного давления. Разработаны способы, выявлен механизм охраны горных выработок, стволов, узлов сопряжений, камер большого сечения с помощью целевой и скважинной разгрузки. Получены аналитические выражения для расчёта времени устойчивого существования горных выработок и их сопряжений с учётом суммарного разгрузочного эффекта от целей, скважин и разгружающих выработок в зависимости от их размеров и скорости деформирования приконтурного массива пород.

На нынешнем этапе развития технологии разработки калийных месторождений Предкарпатья процесс освоения подземного пространства следует считать попутным к основной деятельности. Приоритетное направление - размещение отходов калийного производства в выработанном пространстве рудников, вскрышных пород - в выработанном пространстве карьеров.

Разработана методика определения ценности каинито-лангбейнитовых руд, экономический механизм рационального использования недр. Суммарный экономический эффект от применения систем разработки с закладкой включает экономию от сохранения ценной полезной площади на поверхности, непроизводительных расходов на обслуживание отвального хозяйства, экономию затрат на

снос и последующее воспроизводство охраняемых объектов на поверхности, экономию от повышения извлечения ископаемого из недр и затрат на ликвидацию рудника за вычетом затрат на обслуживание складочного комплекса.

Совокупность вышеизложенных положений, методов их осуществления и возможных технико-экономических последствий составляют сущность системы комплексного освоения калийных месторождений Предкарпатья (рис.1).

Обоснованность и достоверность научных исследований, выводов и рекомендаций подтверждается результатами лабораторных и натурных исследований, внедрением в практику разработки калийных месторождений, защищена авторскими свидетельствами и патентом на изобретение.

Практическая ценность работы. В соответствии с разработанной технологией достигнута высокая надёжность вскрытия калийных месторождений скважинами специального назначения - для подачи складочного материала(СтКР-2), закачки рассолов при ликвидации, для проветривания рудников, прокладки кабелей и других целей.

Аналитические методы расчёта параметров разработки позволяют обеспечить устойчивость геомеханических систем без закладки, с закладкой выработанного пространства или заполнением рассолами. Прогноз оседания земной поверхности осуществляется в зависимости от запаса прочности междукамерных целиков. Доказано, что наиболее надёжный способ предотвращения сосредоточенных провалов земной поверхности - применение закладки выработанного пространства. Охрана выработанного пространства с помощью твердеющей закладки возможна при сплошной камерной системе разработки калийных залежей, т.е. отработке и закладке камер через одну.

Быстрое наращивание добычи достигается при системе разработки с ленточно-прерывными целиками. Теоретически обоснована и практически реализована система разработки калийных залежей камерами с траншейным днищем и с общей рассечкой, внедрены прогрессивные параметры: камеры увеличенной ширины (14, 20м) и повышенной этажности, дифференцированные по мощности размеры целиков и камер.

Практически осуществлена отработка целиков специального назначения: барьерных, околоствольного, водоохранного у скважины С-30, разработан проект отработки запасов пластов К-Нижний, К-Средний, К-Верхний под водными объектами – аккумулирующими бассейнами и дренажной траншеей Домбровского карьера. Между открытыми и подземными работами установлена минимальная толщина целика из водонепроницаемых пород не менее 60м.

Выполнены проекты разгрузки сопряжений вентиляционного и вспомогательного стволов рудника Пийло с помощью продольных и радиально-поперечных скважин, технологические паспорта проходки транспортного и конвейерного квершлагов в слабых с твердыми



включениями породах. Результаты проведенных исследований могут быть использованы в учебном процессе.

Декларация конкретного личного вклада автора в разработку научных исследований.

В основу диссертационной работы положены научные исследования, выполненные в 1966 - 1975г.г. в бывшей Калушской научно-исследовательской лаборатории ВНИИГалургии (Государственный научно-исследовательский институт галургии Украины), в 1976 - 1996 г.г. - концерне "Хлорвинил" (ныне открытое акционерное общество концерн "Ориана"). Руководителем и ответственным исполнителем работ был автор. Результаты исследований освещены более чем в 30 научных отчётах и 200 проектах (на 2000 листах).

Апробация работы. Включенные в диссертацию результаты исследований докладывались на Всесоюзных конференциях, совещаниях и симпозиумах (Ленинград, 1969г.; Львов, 1971; Солигорск, 1972; Калуш, 1973, 1979; Ивано-Франковск, 1990), республиканских (Калуш, 1968) и областных научно-технических конференциях (Калуш, 1981, 1983), на международной конференции "Калійні добрива України". (Калуш, 1994). Научно-практические работы обсуждались на научно-технических советах институтов ВНИИГалургии, Горхимпроект, Стебниковском ГГХП Полиминерал, Государственном предприятии Шахтострой, Калушском концерне "Ориана".

Публикации. Творческий потенциал автора составляет 70 научных работ, из которых 66 опубликованы по теме диссертации: одна монография, обзор, научно-методическое пособие, пять авторских свидетельств на изобретения, патент Украины, 52 статьи и 5 тезисов докладов. Три статьи переведены за рубежом, одна статья, опубликована в США, Австралии и на Кубе.

Объём и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, восемнадцати разделов, общих выводов и восьми приложений. Общий объём 264 стр., включая 190 стр. машинописного текста, 66 рисунков и 35 таблиц. Библиографический список содержит 227 наименований.

Работа выполнена в Калушском концерне "Ориана". Объектом исследований являлись Калуш-Голыньское и Стебникское месторождения калийных солей Предкарпатского бассейна.

Глава 1. Состояние сырьевой базы, практики разработки и исследований. В недрах Предкарпатского калиеносного бассейна выявлено 23 месторождения, в которых сосредоточено до 7,7 млрд т запасов каинито-лангбейнитовых руд. Из них два месторождения – Калуш-Гольинское и Стебникское – разрабатываются более 100 лет, к перспективным относятся Марково-Росильнянское, Тростянецкое, Бориславское, Уличнянское и др.

В калийной зоне месторождений преобладают следующие типы пород: каинитовая, сильвинитовая, лангбейнитовая, полиминеральная, карналлитовая, кизеритовая. Основными вмещающими породами являются соленосная глина (зубер), каменная соль, глинистая каменная соль, соленосная брекчия. В местах соприкосновения соленосных пород и четвертичных отложений происходит интенсивное выщелачивание солей и образование гипсо-глинистой шляпы (ГГШ), которая сложена вязкой песчанистой глиной, гипсом и иногда карбонатами.

К водоносным относятся горизонты верховодки в покровных суглинках на глубине 1- 1,5 м от поверхности и галечниковый на глубине 5-15 м. Зона соляного зеркала, разделяющая кору выветривания (ГГШ) и рудный массив, местами содержит насыщенные рассолы, которые имеют гидравлическую связь с галечниковым горизонтом. Приток пресных вод в основном водоносном горизонте (галечниковом) составляет в среднем 5-10 м<sup>3</sup>/сутки, максимальный - до 100 м<sup>3</sup>/сутки. Рудосодержащие и вмещающие породы практически безводны. Главным водопором являются породы ГГШ с коэффициентом фильтрации 0,1 - 0,001 м/сутки, под которыми дополнительно оставляют водозащитную потолочину из соленосных или рудосодержащих пород толщиной 30 м на Калуш-Гольинском и не менее 60 м - на Стебникском месторождениях. Рудосодержащие породы практически водонепроницаемы, их коэффициент фильтрации составляет  $1 \times 10^{-3}$  -  $1 \times 10^{-4}$  м/сутки.

Строение рудосодержащих пород слоистое, изредка встречаются включения рассеянного типа. Вмещающие породы в большинстве своем имеют монолитное, однородное строение. Встречаются включения рассланцованных слабых глин, именуемых мыдляркой, а также пестроцветных глин, склонных к пучению. Рудные тела Калуш-Гольинского месторождения являются отложениями Нижнебаличской свиты, имеют форму пластообразных линз с неспокойной гипсометрией. Размеры залежей по основному направлению достигают 1- 2 км, их мощность колеблется от 2 до 60 м (одиночных линз до 100 м), падение полого-наклонное от 0° до 40°, иногда до 60°. В пределах месторождения выделяются такие рудные поля: Северное сильвинитовое, Северное и Центральное каинитовые, Хотинское сильвинитовое ликвидированного путём регулируемого затопления рассолами рудника Калуш; Западно-Гольинское ликвидированного рудника Гольинь с объемом открытого выработанного пространством 1,5 млн. м<sup>3</sup>;

Восточно-Гольинское и Сивка-Калушское рудника Ново-Гольнь, выработанное пространство которого объемом 12 млн.м<sup>3</sup> заполняется рассолами; Домбровское, разрабатываемое открытым способом; к эксплуатации готовится месторождение Пийло. Глубина разработки на руднике Калуш до 440м, Ново-Гольнь - до 300м, Пийло - до 800м.

Стебникский калийный район представлен крутопадающими пластами калийных солей (20-90°), мощность которых достигает 200м, длина по простиранию - до 1000м, глубина распространения - до 1000м. К Стебникскому калийному району относятся месторождения Бориславское, Уличнянское, Стебникское, Белина Великая. Последнее намечается к отработке открытым способом.

Предкарпатский калиеносный бассейн обладает достаточным минерально-сырьевым потенциалом для строительства мощных предприятий, способных обеспечить выпуск калийно-магниевой продукции в течении нескольких сотен лет. Весьма важным условием высокоэффективной разработки калийных месторождений Предкарпатья является надёжное геологическое обеспечение горных работ, надёжная защита от проникновения поверхностных вод и рассолов.

Анализ накопленного опыта и исследований показал, что возникшие при разработке калийных месторождений Предкарпатья негативные явления можно было предотвратить при комплексном, системном подходе к их освоению, который находит всё более широкое применение в горной технологии. Уже на стадии вскрытия закладываются основы эффективной разработки месторождения. Для калийных рудников Прикарпатья это означает, что оптимальный вариант вскрытия необходимо выбирать путём сравнения вариантов с вертикальными, наклонными стволами, автотранспортными съездами, скважинами специального назначения при надёжной гидроизоляции водоносных горизонтов, обеспечении долговечности крепи в слабых, склонных к пучению и ползучести, породах. Переход к восходящему порядку отработки запасов калийных месторождений позволит решить несколько взаимосвязанных проблем, но требует изучения технологических и геомеханических особенностей его осуществления. К ним относятся большой первоначальный объём горнокапитальных работ, многократные переходы на вышележащие горизонты с переналадкой подъёмно-транспортного оборудования, невозможность повторной отработки запасов, очередность отработки околоствольных целиков, необходимость обеспечения минимального оседания налегающих пород и земной поверхности, формирование складочных массивов, ликвидация стволов и др..

Буровзрывная отбойка в пределах обозримого будущего будет иметь явное преимущество по сравнению с комбайновой (механической) как на проходке, так и на добыче. В практике разработки пологопадающих силвинитовых пластов мощностью 1-3 м Старобинского месторождения за короткий период произошёл переход

от камерной системы с жесткими, а затем с податливыми (Житков Э Ф.) целиками к системе разработки длинными столбами по простираению с обрушением кровли. Прорыв в теории и практике разработки маломощных пологопадающих сильвинитовых пластов достигнут благодаря исследованиям таких учёных, как Р.С.Пермяков, М.П.Нестеров, Ю.П.Шокин, М.М.Зайцев, В.А.Сорокин, Т.Е.Денкевич, В.И.Зеленкин, К.А.Степанов и др.. Такая система применяется при разработке сильвинитов Эльзасского месторождения (Франция), Наваррского бассейна в Испании, месторождения троны в США (штат Вайоминг), возможно применение на отдельных участках рудниках Пийло при достаточной мощности водозащиты (40m). Камерно-столбовая система с квадратными целиками применяется для разработки Карлсбадского месторождения США (извлечение достигает 90%), на калийных рудниках ФРГ, прошла испытания на Верхнекамском месторождении, изучена возможность применения на Калуш-Голыньском месторождении. Очистная выемка полого-наклонных залежей в камерах с плоским и траншейным дном развивается в направлении снижения трудозатрат на разделке отрезной щели, перехода к безлюдной выемке, применения буровзрывных добычных систем. Новый подход необходим к изучению технологии добычи с целью обеспечения равномерной отработки полого-наклонных залежей переменной и различной мощности.

В теории горного давления отсутствуют методы расчёта устойчивости междукамерных целиков с учётом бокового давления монолитной, породносухой закладки, ликвидационного заполнителя из рессолов и глинисто-солевых шламов, а также с учётом разгрузки их барьерными рудными, комбинированными и искусственными (закладочными) целиками. К числу неизученных проявлений горного давления относятся сосредоточенные провалы земной поверхности, механизм которых предстоит раскрыть в настоящей работе и разработать способы их предотвращения. Надёжное геомеханическое обеспечение необходимо для отработки целиков специального назначения.

Важное направление в теории управления горным давлением представляет собой выбор оптимального критерия устойчивости горных выработок, изыскание эффективных способов разгрузки, создание аналитических методов расчёта параметров разгрузки, долговечности охраняемых выработок, узлов сопряжений, камер большого сечения.

Глава 2. Обоснование схемы вскрытия, подготовки и отработки месторождения. Существующие схемы вскрытия месторождений полезных ископаемых и способы подготовки шахтных полей предназначены в основном для нисходящей отработки запасов. Классический вариант вскрытия вертикальными стволами и этажными квершлагами использован для разработки крутопадающих залежей Стебникского месторождения на рудниках СтКР-1 и СтКР-2. Расположение вентиляционных стволов — фланговое. Полого-

наклонные залежи Калуш-Гольинского месторождения вскрыты вертикальными стволами и этажными (рудники Ново-Гольинь, Калуш), капитальными (рудник Гольинь) квершлагами, а также капитальными уклонами. Вскрытие рудного поля Пийло осуществляется в соответствии с проектом вертикальными стволами, капитальными квершлагами и уклонами. Расположение вентиляционных стволов преимущественно фланговое, изредка центрально-отнесенное (ствол №3 рудника Ново-Гольинь). Разрушение бетонной крепи в вентиляционном стволе на длине 200м, арочной крепи в транспортном квершлагае, выброс нескольких ярусов сверхжёсткой тубинговой крепи во вспомогательном стволе привели к значительному увеличению продолжительности строительства рудника Пийло (до 20 лет) вместо 10 и к необходимости изыскания альтернативных вариантов вскрытия.

Изучение накопленного практического опыта показало, что развитие схем вскрытия рудных месторождений происходит в направлении использования вертикальных, наклонных стволов и автомобильных съездов, этажных и капитальных штолен. С помощью вышеуказанных выработок вскрыты апатито-нефелиновые залежи Кокисумчорского и Юкспорского месторождений, месторождение рудника Руттан в Канаде, а свинцово-цинковое месторождение рудника Сулливан - горизонтальной штольной длиной до 3 км. Штольневое вскрытие применено для разработки Квайсинского, Хоникомского и Згидского рудных месторождений. Горизонтальной штольной длиной до 200м вскрыт вертикальный ствол №7 на руднике Калуш, пройденный со склона Войнилловских высот. В практике разработки соляных месторождений известно вскрытие наклонными стволами Нахичеванского каменно-соляного месторождения. Наклонным стволом сечением  $5 \times 3 \text{ м}^2$  и двумя вертикальными стволами диаметром 5,3м вскрыто месторождение сильвинита у населённого пункта Кардона в Испании. Стволы пройдены в соляном штоке на глубину 720м, наклонный ствол пройден в ядре антиклинами под углом  $16^\circ$ . Длина наклонного ствола с уклонами, его продолжающими, достигает 4600м.

В результате анализа научных исследований и практического опыта установлена возможность вскрытия калийных месторождений Предкарпатья наклонными стволами при надёжной гидроизоляции водоносных горизонтов методом замораживания пород, тампонажа или создания многослойных противодиффузионных завес ПФЗ, а также разгрузки слабых пород с помощью податливого слоя. Наклонными стволами можно было вскрыть шахтные поля рудников Калуш, Гольинь, Ново-Гольинь, Пийло с гор. +40м рудника Ново-Гольинь уклоном длиной до 800м. Оптимальный вариант вскрытия калийных месторождений Предкарпатья должен выбираться путём технико-экономического сравнения альтернативных вариантов - вертикальными, наклонными стволами и автомобильными съездами.

В условиях калийных месторождений Предкарпатья преимущественно применяется этажная подготовка, развитие которой

происходит в направлении увеличения высоты этажей как при крутом, так и полого-наклонном падении залежей. Панельная подготовка обособленных линз применялась на рудниках Калуш, Гольнь, запроектирована на руднике Пийло. Широко применяется для подготовки горизонтальных и слабонаклонных сильвинитовых залежей Верхнекамского и Старобинского месторождений, ФРГ, Эльзаса и Карлсбадского.

Решение многих проблем добычи и переработки каинито-лангбейнитовых руд достигается при переходе к восходящему порядку отработки калийных месторождений. Прежде всего при восходящей отработке на длительный период обеспечивается сохранность (сплошность) водозащитного слоя - потолочины, поскольку запасы верхнего этажа обрабатываются в последнюю очередь. Создаются благоприятные условия для заполнения выработанного пространства отходами обогащения каинито-лангбейнитовых руд без сооружения дорогостоящих гидроизоляционных перемычек, закладка не представляет опасности для работающих, поскольку подготовительные и очистные работы ведутся этажом выше. Одновременно с отработкой запасов осуществляется ликвидация рудника. Использование в качестве закладочного материала отходов обогащения каинито-лангбейнитовых руд позволяет ликвидировать потенциально опасный способ их складирования на поверхности, исключить загрязнения окружающей среды и сохранить ценную полезную площадь.

Наиболее удачно восходящий способ отработки сочетается со схемой вскрытия вертикальными стволами крутопадающих залежей, где камеры имеют форму вертикальных силосов, что создаёт благоприятные условия для самотечного выпуска руды и самотечной закладки их любым материалом - сухим породным или растворным. Не утрачена возможность отработки в восходящем порядке оставшихся запасов Стебникского месторождения, предусмотрена в проекте рудника Пийло. Несомненные преимущества восходящего способа отработки месторождений доказаны практически на рудниках цветной металлургии Австралии, Канады, России, опыт работы которых изложен в трудах д.т.н.М.Н.Цыгалова, В.И.Хомякова и др.

Схемы вскрытия на многих рудниках цветной металлургии отличаются применением скважин специального назначения - для подачи закладочного материала: Тасеевском, Гайском, Оутокумпу, Геко, Флин-Флон, Эльдорадо, Маунт Айза, ЗЖРК и др. На угольных месторождениях скважины специального назначения используются в основном для проветривания шахт.

Впервые в практике разработки калийных месторождений вскрытие скважинами специального назначения было осуществлено на СтКР-2. Теоретическую основу способа вскрытия составила многослойная гидроизоляция водоносных горизонтов при соблюдении следующих условий: ствол скважины должен быть заложен в зоне поднятия соляного зеркала; безводность надсолевой толщи пород; отсутствие

карстовых полостей и геологических нарушений; расстояние от конца скважины до действующих выработок должно быть не менее 30м; тампонажные растворы должны обеспечивать высокую непроницаемость и сцепление с вмещающими породами.

Технология проходки включала бурение скважин, установку трубной колонны, промывку затрубного пространства чистой водой или глинистым раствором, тампонаж цементным раствором для холодных скважин (цемент по ГОСТ 1581-63), затворяемым на чистой воде с водоцементным отношением 0,4 - 0,5; испытание тампонажного раствора на герметичность под давлением 10ат с помощью промывочного насоса в течение 30 мин.; испытание колонны на перекрытие воды. Таким образом производят гидроизоляция первой обсадной колонны (кондуктора), которая перекрывает четвертичные отложения и галечниковый водоносный горизонт. Вторая колонна труб перекрывает надсолевую толщу пород и заглубляется на 30м ниже соляного зеркала. Промывка затрубного пространства производится хлормagneйными природными рассолами с концентрацией солей 380г/л, тампонаж затрубного пространства - раствором каустического магнезита на хлормagneйных рассолах в соотношении 900кг на 700л. Аналогично производится промывка и тампонаж третьей обсадной колонны, перекрывающей всю толщу налегающих пород. Всего на СтКР-2 пробурено 4 скважины специального назначения: СП-1, СП-2, СП-3 диаметром 610 - 394мм и с глубиной обсадки 98,7 - 128,0м; СП-4 - диаметром 1000 - 490мм с глубиной обсадки 133м. Проходка скважин осуществлялась Загайпольской и Юго-Западной ГРП. Бурение производилось станком 1БА-15В, тампонаж затрубного пространства - агрегатом ЦА-320. Продолжительность строительства одной скважины с учётом бурения опережающей скважины диаметром 93мм составила в среднем 3 мес. Проверка показала, что способ вскрытия калийных месторождений Предкарпатья скважинами специального назначения обладает высокой надёжностью и может быть использован для внедрения на других калийных месторождениях. Технология проходки скважин была доведена до совершенства с помощью учёных ВНИИГалургии к.т.н. Парфёнова А.П.; Швецова Г.И.; Липницкого В.К.; Григорова Ю.С. и работников ГГХП Полиминерал Яковлева Н.И., Краснокутского А.Ф., Драновского Й.Ф. Для создания противодиффузионной завесы в районе камер № 115-116 была пробурена серия тампонажных скважин ПО Спецтампонажгеология, но остановить течь не удалось.

Глава 3. Оптимизация технологии проходки и добычи. Основным способом проходки капитальных, горноподготовительных и нарезных выработок на калийных рудниках Прикарпатья является буровзрывной с применением породопогрузочных машин ППМ-4м или скреперных установок на погрузодавстве горной массы. Производительность труда проходчика составляет 0,4 - 0,6 пог.м. в смену, продвижение забоя в месяц до 60м. Такая технология с применением переносного бурового

оборудования (ЭБГП-1У5) обеспечивает эффективную разработку калийных залежей мощностью 10м и более. Но при уменьшении мощности пластов до 4м и ниже существующая технология проходки не обеспечивает качественное и своевременное воспроизводство очистного фронта, уровень эффективности разработки снижается до порога рентабельности, что вызывает необходимость повышения темпов проходки. Некоторое повышение темпов проходки может быть достигнуто за счёт неиспользованных резервов буровзрывной технологии - увеличения глубины шпуров, бурения врубовых скважин большого диаметра, изменения конструкции врубов, применения обратного или встречного инициирования зарядов. Основоположителем технологии проходки горных выработок на калийных рудниках с применением врубовых скважин большого диаметра является ВНИИГалургии (к.т.н. Рамоданов Б.И.), с применением обратного и встречного инициирования зарядов - ППИ (д.т.н. Лыхин П.А и др.). За счёт совершенствования взрывоотбойки породы в горных выработках на калийных рудниках Прикарпатья производительность труда проходчика можно повысить в 1,2 - 1,3 раза. Оптимальный вариант проходческого комплекса - УБШ - 520 ДЭВ, МБС-1, ЗМКД-1К, ПД-12 - может повысить производительность труда в 1,5 - 2 раза по сравнению с существующей технологией. Причём вследствие повышенной вязкости для отбойки соляных пород необходимо бурить шпуров вдвое больше расчётного по формуле М.М.Протождьяконова.

Для разрушения механическим способом пригодны проходческие комбайны: по зуберу (соленосной глине) - ШБМ-2, ПК-8, 4ПП-2; по рудосодержащим породам - КГ- 3750, КРТ, Роббинс, Марк-12, Урал-20КС, АМ-50, АМ-85, Kawasaki. Высокая интенсивность проходки может быть достигнута комбайнами с исполнительным органом гидроударного, в перспективе - турбинного типа. Разрушение слабых пород с твердыми включениями буровзрывным способом приводит к нарушению устойчивости приконтурного массива, к выпуску большого количества излишней породы и в конечном итоге к разрушению крепи (транспортный квершлаг, рудник Пийло). Скорость проходки по таким породам комбайном существенно снижается из-за износа резцов. Для проходки по рассланцованным глинам (мыдлярке) с включениями песчаника на солевом цементе предложен способ с предварительным ослаблением призабойного массива безвыбросным взрывом или невзрывчатым разрушающим средством НРС-1. При безвыбросном взрыве заряд уменьшается от центра к контуру выработки в соотношении 1,5: 1,25: 1. В результате предварительного ослабления (первичной отбойки) происходит образование трещин в призабойном массиве. Радиус развития трещин вокруг одиночного заряда по данным натурных исследований составляет 0,3 - 0,4м и совпадает с результатами других исследователей О.С.Лысенко, И.Д.Мухина, В.Н.Тюпина, В.А.Редькина, О.А.Тимантеева, В.Г.Зильбершмидта, Б.Н.Кутузова, В.М.Глобы, И.Е.Хмары и др. Вторичная отбойка

ослабленного призабойного массива осуществляется фрезой комбайна 4ПП-2. Эффективность проходки в целом повышается за счёт длительной устойчивости выработки без замены крепи. С предварительным ослаблением призабойного массива необходимо оформлять контуры камер большого сечения, проходить разгружающие выработки у стволов, разрушать деформированную крепь при ремонте стволов, околоствольных выработок и применять во всех случаях, когда необходимо сохранить приконтурный массив нетронутым.

Технология очистной выемки основана на буровзрывной отбойке и скреперной доставке руды. Разработка мощных крутопадающих залежей Стебникского месторождения осуществляется системой этажных ортов с такими параметрами: высота этажей 60м; толщина междуэтажной потолочины 12м; ширина камер 15м; междукамерных целиков 12м. Развитие системы этажных ортов происходит в направлении увеличения высоты камер до 120м и ширины до 30м при ширине междукамерных целиков до 20-25м. Оптимальный вариант очистного комплекса при использовании существующей техники: ЭБГП-1У5, ВДПУ-4ТМ, СП-80К, СМБ-170. Транспорт руды по горизонтальным выработкам концентрационного горизонта - ленточными конвейерами КЛБ-800, 1ЛУ. При внедрении бурового станка СВБ-50В производительность труда забойного рабочего повысится в 1,5 - 2 раза. Отработка крутопадающих пластов мощностью до 20м производилась системой этажно-подэтажных штреков камерами длиной до 42м при ширине междукамерных целиков 12м. Развитие системы этажно-подэтажных штреков происходит в направлении увеличения длины камер по простиранию и высоты до 120м (к.т.н. Рыженьков А.М., Иванов А.А.ЛГИ) и применения монорельсовых комплексов КПВ, КОВ-25 на очистной выемке (к.т.н. О.С.Лысенко, М.М.Зайцев, Ю.С.Григоров, ВНИИГ).

Полого-наклонные залежи Калуш-Гольинского месторождения мощностью до 20м отрабатывают камерами с плоским дном в три стадии: нижний слой (подсечку) вынимают с опережением не более 10м от забоя верхнего слоя (кровли) в прямом порядке; в обратном порядке отрабатывают запасы руды в предохранительном уступе над людским ходком. Нарращивание добычи без дополнительной проходки возможно в камерах с плоским дном за счёт частичной выемки междукамерных целиков, т.е. применения системы разработки с ленточно-прерывными целиками. В процессе отработки камерного запаса в прямом порядке с помощью взрывного выброса руды веерными зарядами формируют полукамеры с одной стороны целика, а при отработке предохранительного уступа в смежной камере образуют вторичные полукамеры с другой стороны целика. Важным параметром системы с ленточно-прерывными целиками является расстояние между вторичными камерами, которое устанавливается расчётом.

Отработка пластов мощностью до 30м с плоским дном возможна двумя подэтажами с опережающим верхним, двумя

подэтажами с обработкой нижнего подэтажа и плоской подсечки в прямом порядке, а верхнего подэтажа - в обратном, причём одновременно погашается предохранительный уступ. При обработке пластов камерами с верхней подсечкой и креплением кровли анкерами возможно обрушение породы со стенок камеры.

Полная безопасность работ в камере с плоским дном обеспечивается с применением ПДМ или бульдозеров с дистанционным управлением. Однако неровный профиль плоского дна (а порой выпукло-вогнутый) не позволяет осуществить безлюдную доставку руды по камерам. На основе анализа технологических схем установлено, что оптимальным вариантом является система с верхней и нижней подсечкой при обработке стенок канатными пилами и подрезке почвы врубными машинами. Такой вариант системы открытых камер с плоским дном допускает хождение людей в открытом выработанном пространстве и обеспечивает высокую эффективность за счёт применения комбайнов на выемке верхней подсечки, высокопроизводительной техники на бурении скважин, экскаваторов на погрузке руды, самоходных дробильных установок, телескопических конвейеров и самоходного погрузочно-доставочного оборудования (циклично-поточная технология добычи, рудоуправление Артемсоль). Важнейшим фактором высокой эффективности системы является постоянная высота камер (галерей) до 44м и ширина 17м.

Применение камерной системы с верхней и нижней подсечкой на калийных рудниках Прикарпатья ограничивается локальными участками с большой мощностью пластов. Повсеместно пласты мощностью более 20м обрабатываются системой открытых камер с траншейной подсечкой, этажной или подэтажной отбойкой. Максимальная производительность камер при скреперной доставке достигает 10 тыс.т в месяц, средняя - 5-6 тыс.т (с плоским дном 4-5 тыс.т), выемочного участка при работе нескольких камер на сборный конвейер - до 40 тыс.т в месяц.

Оптимальные варианты технологических схем: 1) СВБ-50В; ВДПУ-4ТМ; СП-80К; ДКЗ; СМБ-170; КЛБ-800 (1ЛУ); 2) СВБ-50В; ПНБ-3К; 5ВС-15М; СП-202; СМБ-170; 1ЛУ 3) СВБ-50В; ПД-12; СП-202.

Система открытых камер с траншейным дном более безопасна, чем с плоским, но обладает более высокими эксплуатационными потерями руды в дном (до 10%). В зависимости от мощности залежи  $h$ , ширины камеры  $A$  и буродоставочной выработки  $b$  потери руды в дном составляют  $P_{\Sigma} = 17,5(A-b)^2/Ah, \%$

Повышение эффективности добычных работ достигается за счёт применения системы открытых камер с общей рассечкой: на 48 чел-смен снижаются трудозатраты при разделке отрезной щели, производительность вторичной камеры повышается в 1,5 раза, коэффициент стабильности - в 2 раза, извлечение руды - на 10%. В качестве отрезной щели для соосно расположенных камер используются ранее отработанные камеры верхнего этажа, для перекрестно расположенных камер - специально отработанная по

простиранию или по восставанию камера. Основные условия безотрезной отработки вторичных камер: запас прочности междукамерных целиков должен быть не менее 2,5; величина пролета в сопряжениях должна быть не более 30м по диагонали; для обеспечения запасного выхода выпускные ниши под выработанным пространством должны быть надёжно изолированы канатно-сетчатыми перемычками.

Неравномерность отработки характерна для Калуш-Голынского месторождения, где мощность пластов изменяется не только по основным направлениям, но и по длине каждой выемочной единицы - камеры. Для решения этой проблемы был использован новый вид исследований - распределение добытой руды по вынимаемой мощности и по годам, т.е. в пространстве и во времени. Исследования технологии добычи на руднике Ново-Голынь показали, что основные запасы на мощных пластах были отработаны в течение первых 15 лет, а затем отрабатывались запасы маломощных залежей. Отношение средневзвешенной выемочной мощности к среднеэксплуатационной изменялось от 0,7 до 1,4 и снова до 0,7. Это существенно повлияло на технико-экономические показатели соледобычи: себестоимость 1т руды возросла с 3 до 7 руб., удельный объем подготовительно-нарезных работ на 1000т добычи увеличился с 5 до 10 пог.м., себестоимость проходки возросла с 3,8 до 12 руб./м<sup>3</sup>. Явно выраженной неравномерностью отличается отработка запасов участка Сивка-Калушская, где пласт К-1 мощностью до 100м был отработан в первую очередь, а затем маломощные (2-5м) пласты К-1в, К-2, К-5, причём через 10 лет с нижележащего горизонта + 140м. Это привело к потере на гор.+190м до 2000 п.м. выработок.

Неравномерность отработки месторождения объясняется отсутствием системы управления технологией добычи, для создания которой были проведены исследования отдельных технологических процессов. Для различной мощности пластов 1; 2,5; 4; 5-20; 30; 40м и ширины камер от 8 до 13м были разработаны паспорта (до 400) буровзрывных работ. Из условия равенства реального и условного вееров были получены аналитические выражения для расчёта параметров отбойки: количества скважин, величины заряда, расстояния между концами скважин. Путём сравнения паспортно-расчётных и фактических данных получены аналитические выражения для определения удельного объема работ по бурению и заряданию скважин в зависимости от вынимаемой мощности пласта (высоты отбиваемого слоя):  $V_g = 2 / (\sqrt[3]{10h + 0,5h^2} - 0,1h)$ , п.м./т, удельного расхода  $q_{ин} = 1,5 / (\sqrt[3]{10h + 0,5h^2})$ , кг/т и других материалов.

В результате обработки практических данных получена экспоненциальная зависимость производительности скреперной установки от длины доставки -  $P_g = K_v \cdot e^{1,1-1/350}$  где  $K_v$ - коэффициент, учитывающий ёмкость скреперного ковша, такого же вида графическая и

аналитическая зависимость получена для производительности ПДМ:

$$P_q^M = K_v \cdot e^{1,1-1/550}$$

Расчётным путём установлена величина коэффициента технологичности системы (удельного объема подготовительно-нарезных работ на 1000т добычи) в зависимости от вынимаемой мощности пласта, размеров выемочного участка, длины нарезных и горноподготовительных выработок:

$$\text{для камер с плоским дном} K_{1c}^* = \left[ 2(A+a) + l + \frac{2l(A+a)}{L-a} \right] / h(l-20) A \cdot \gamma$$

$$\text{для камер с траншейным дном} K_{1c}^* = \frac{[2(A+a) - 2,2l + 2l(A+a)/(L-a)]}{(l-20) \cdot \gamma [Ah - 0,175(A-b)^2]}$$

Здесь в формулах:  $A$  - ширина камеры, м;  $a$  - ширина междукамерного целика, м;  $l$  - наклонная высота этажа, м;  $L$  - длина выемочного участка по простиранию, м;  $b$  - ширина буроподсечной выработки, м;  $h$  - мощность пласта, м; 20 - длина верхней и нижней горловин камер, м.

На основе полученных аналитических зависимостей созданы экономико-математические модели себестоимости и трудоемкости добычи 1т руды. При отработке пластов системой открытых камер с плоским дном показатели трудоемкости и себестоимости определяются как средневзвешенные для нижнего и верхнего слоя.

Расчеты по экономико-математическим моделям адекватны действительным экономическим процессам, соответствуют экономической сущности технологии добычи руды, но отличаются громоздкостью. Поэтому они были трансформированы в графические зависимости гиперболического типа (рис.2), которые описываются простейшими уравнениями вида  $T = 0,03 + 0,22/h$ , чел.см./т;  $C = 1,5 + 3,5/h$ , руб./т. Себестоимость и трудоемкость добычи не должны превышать значений, принятых за стандарт - для средневзвешенной мощности пласта 10м ( $T_0 = 0,0522$  чел.см;  $C_0 = 1,85$  руб./т.).

Отработка пластов такой мощности с помощью переносно-го забойного оборудования, взрывной отбойки и скреперной дос-тавки должна обеспечивать рентабельность калийно-магниевого производства не менее 30%.

Механизм работы системы управления технологией добычи: из графиков или их уравнений для каждой выемочной единицы (камеры) определяют показатели трудоемкости и себестоимости добычи 1т руды (франко-люк); умножают их на объем добытой руды в каждой камере за любой период времени; сумму произведений делят на суммарный объем добычи из всех камер. Полученные средневзвешенные значения должны быть ниже принятых за стандарт. В том случае, когда расчётные показатели себестоимости и трудоёмкости добычи будут превышать стандартные значения, необходимо скорректировать объем

добычи: уменьшить его на маломощных и увеличить на пластах средней и большой мощности, т.е. изменить структуру добычи.

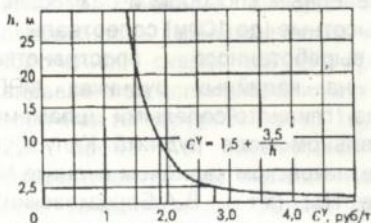
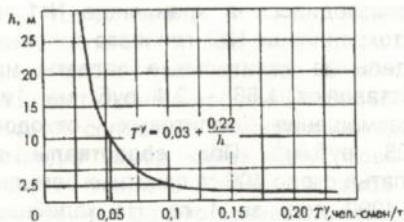


Рис.2. Зависимость трудоемкости и себестоимости 1т руды от мощности пласта

Расчеты показали, что буровзрывной добычной комплекс [ УБШ-520ДЭВ, ЗМКД-1К, ПД-12 ] может обеспечить заданный уровень рентабельности при выемке пластов мощностью 4м или многослойно-многоходовой выемке пластов гораздо большей мощности. При отработке залежей с квадратными целиками, кроме того, повышается извлечение руды на 10%.

Система управления технологией добычи может быть реализована при отработке запасов рудника Пийло, а также при разработке залежей переменной мощности на других рудниках, свиты пластов различной мощности, для обеспечения минимально допустимой кондиционной мощности пласта, для определения долевого объема

добычи забалансовых запасов.

Глава 4. Использование и складирование отходов калийного производства. В результате переработки каинито-лангбейнитовых руд флотационным способом на СтКЗ (ныне ГГХП Полиминерал) выход галитовых отходов обогащения составлял - 17%, глинисто-солевых шламов - 47%. Состав галитовых отходов: каинит - 13,34%, лангбейнит - 8,05%, полигалит - 10,33%, кизерит - 7,64%, н.о. - 6,15%, H<sub>2</sub>O - 15,52%, K<sub>2</sub>O - 5,91%. Галитовые отходы обогащения размещались на поверхности в хвостохранилище гидравлическим способом, глинисто-солевые шламы - в шламоохранилище.

На Калушском заводе калийных удобрений концерна "Ориана" переработка каинито-лангбейнитовой руды, поступающей с рудника Ново-Гольный и Домбровского карьера, осуществлялась комплексным галуургическо-флотационным методом, а с 1983г. - только галуургическим методом. Фактический ассортимент выпускаемой продукции включает: калимагнезию порошковую и гранулированную, техническую соль и хлормagneвые щелока. Анализ работы калийно-магнезиевого производства за 28 лет с 1967 по 1995г. показал, что извлечение калия в калимагнезию составляет 0,548, магния в металл - 0,235, хлористого натрия в техническую соль - 0,044. К отходам калийно-магнезиевого производства относятся галит-полигалитовый остаток, глинисто-

солевые шламы, гипс. Средний состав галитовых отходов обогащения каинито-лангбейнитовых руд: каинит - 4,28%, лангбейнит - 12,37%, полигалит - 9,74%, галит - 51,9%, н.о. - 7,06%,  $K_2O$  - 6,12%. Размещение галитовых отходов обогащения производилось в хранилище №1, в настоящее время размещают в хвостохранилище №2, глинисто-солевые шламы - в шламонакопителе. Удельные капитальные затраты на строительство хвостохранилищ составляют 1,86 - 2,4 руб. на  $1м^3$  вместимости, себестоимость размещения галитовых отходов гидравлическим способом - 2,08 руб./ $м^3$ . Под солеотвалы и хвостохранилища изъято на Прикарпатье около 400 га пахотных земель, ценность которых составляет до 4000 дол. за 1 га. На калийных предприятиях Верхней Камы и Солигорска отходы обогащения руд размещают в отвалах и хвостохранилищах гидравлическим способом, влажные отходы транспортируют конвейерным способом и размещают реактивными метателями, формируя высотные (до 100м) солеотвалы.

Гидравлическая закладка выработанного пространства галитовыми отходами применяется на калийных рудниках ФРГ, Солигорска, Верхней Камы. Закладка глинисто-солевыми шламами впервые была применена на Центральном поле рудника Калуш, в настоящее время применяется на Березниковском калийном руднике № 1 и Соликамском калийном руднике №2 (к.т.н. В.А.Борзаковский). Конвейерным транспортом доставляют карналлитовые отходы влажностью 6- 8% и крупностью до 20мм на калийных рудниках Березников и Соликамска, закладочный массив в камерах возводится скреперными установками, роторными метателями, с помощью ПДМ и самоходных вагонов. Добыча галитовых отходов обогащения из техногенных массивов (хвостохранилищ и солеотвалов) осуществляется на Верхнекамском месторождении.

Исследования конвейерного способа транспортировки на СтКР-2 показали, что галитовые отходы обогащения влажностью более 14 - 16% невозможно доставлять ленточными конвейерами из-за налипания на ленту. Для транспортировки отходов повышенной влажности необходимо использовать пневмогидравлический способ, который успешно применяется на рудниках цветной металлургии для подачи плотных (литых) твердеющих смесей влажностью не менее 30%. Подобным способом было предусмотрено подавать глинисто-солевые шламы в выработанное пространство пласта Зигмунт (СтКР-1), гидрозакладка галитовыми отходами была предусмотрена на руднике Ново-Гольнь.

При восходящей отработке и закладке обеспечивается безопасность горных работ, отпадает необходимость сооружения перемычек, обеспечивается беззасадочное заполнение выработанного пространства закладочным материалом.

На основе галитовых отходов обогащения как заполнителя было получено до 50 составов твердеющей закладки, из которых для практического применения рекомендованы с добавками каустического

магнезита (1-2)%, негашённой извести и бишофита (2,5/1,0)%, некондиционных руд или пустых пород от проходки выработок 5%, тонкомолотой золы 5% (зологалит), доменного гранулированного шлака 5% (шлакогалит) и др. Разработаны технологические схемы приготовления и транспортирования твердеющей закладки двух и трехкомпонентного состава. С помощью твердеющей закладки можно возводить комбинированные барьерные полосы, отрабатывать рудные залежи сплошной камерной системой, т.е. производить отработку и закладку камер через одну. Новые твердеющие смеси созданы на основе глинисто-солевых шламов (к.х.н. Бишко Я.В.) и на основе смешанных шламо-солевых отходов для калийных рудников Верхней Камы (к.т.н. Ю.Г.Кравченко).

Важным направлением развития калийно-магниевого производства является снижение выхода отходов за счёт внедрения более совершенных технологических схем переработки руды, например, укороченной схемы полного растворения (НИИГалургии). Другим направлением использования отходов калийного производства является вторичная их переработка: из 1т галитовых отходов можно извлекать до 722г брома, в глинисто-солевых шламах содержатся такие микроэлементы, как железо, никель, медь, титан, марганец, барий, хром, ванадий и др. Однако существующие методы обогащения не позволяют производить вторичную переработку отходов даже с целью извлечения окиси калия и магния, содержание которых достигает 6% и 4%. Поэтому галитовые отходы обогащения и глинисто-солевые шламы необходимо размещать в выработанном пространстве рудников.

К отходам горнорудного производства относятся также пустые породы и некондиционные руды, добываемые в процессе проходки горных выработок. Выход их составляет в среднем 10% от объема добытой руды. Технология сухой породной закладки включает транспортирование породы в вагонетках из забоев подготовительных выработок, разгрузку круговыми опрокидывателями и последующее размещение в камерах с помощью скреперных установок, ПДМ или самоходных вагонов. Породы от проходки капитальных выработок - стволов, квершлагов, околоствольных выработок - размещают на поверхности в отвалах.

К отходам производства на Домбровском карьере относятся вскрышные породы. Из них почвенный слой и суглинки используются для рекультивации хвостохранилищ, солеотвалов, гравийно-галечниковые отложения - в качестве строительного материала, породы ГГШ - для сооружения гидроизоляционных экранов. В отвалах складировать вмещающие породы (зубер) и некондиционные руды, суглинки, галечниково-песчаную смесь, породы ГГШ, электролит с магниевого завода и примеси мягкой вскрыши (довскрыша). Внешние солеотвалы существенно повышают экологическую опасность открытого способа разработки, что подтверждает общую тенденцию развития горного производства на увеличение объема подземной добычи

полезных ископаемых. Размещение вскрышных пород по внутренних отвалах или в старых карьерах является оптимальным решением на текущий момент.

Разновидностью отходов калийного производства являются рассолы, которых накопилось в Калуше до 3млн.м<sup>3</sup> на южном участке Домбровского карьера, 1,3млн.м<sup>3</sup> в аккумулирующих бассейнах, до 1,5 млн.м<sup>3</sup> в хвостохранилище №2 и до 1 млн.м<sup>3</sup> в шламонапителе. Вариант закачки рассолоотходов в юрские известняки в принципе возможен, опробован, но не осуществим по причине ликвидации насосных установок и оборудования. Реально осуществляется закачка рассолов в выработанное пространство рудника Ново-Гольнь, объем которого составляет 12 млн.м<sup>3</sup>. Безусловно эффективным является вариант использования рассолов в технологическом процессе для получения калийно-магниевой продукции.

Глава 5. Управление геомеханическими процессами. Надёжность управления геомеханическими процессами предопределяют физикотехнические основы, включающие исследования и текущий контроль физико-механических свойств рудосодержащих, вмещающих пород, закладочного материала, натурные наблюдения за напряжённо-деформированным состоянием горных массивов и выработок, сдвижением земной поверхности. Наиболее известными в этом направлении являются исследования таких учёных, как Проскуряков Н.М., Пермьяков Р.С., Черников Н.К., Нестеров М.П., Львова А.В., Карташов Ю.М., Усаченко Б.М., Глушко В.Т., Ливенский А.С., Савченко А.Ф., Борщ-Компониец В.И., Ширко Г.И., Ямщиков В.С., Юдин Р.Э., Яворский Б.Н., Ержанов Ж.С. Кацауров И.Н. Капленко Ю.П., Либерман Ю.М., Щелканов В.А., Заславский Ю.З., Литвинский Г.Г., Картозия Б.А., Кошелев К.В., Филатов Н.А., Баклашов И.В., Зборщик М.П. и др.

Лабораторные исследования физико-механических свойств рудосодержащих и вмещающих пород на образцах кубической, призматической и неправильной формы позволили определить влажность, пористость, прочность на одноосное сжатие, растяжение, изгиб, модуль упругости, коэффициент Пуассона. Получены зависимости изменения прочностных характеристик пород от глубины залегания, влажности. Из горнотехнологических характеристик определена абразивность пород методом истирания латунной трубки. Изучение механизма деформирования и разрушения соляных пород производилось на цилиндрических образцах глинистой каменной соли диаметром 150мм и высотой 600мм с помощью ультразвуковой установки УЗП-62. По данным ультразвуковых исследований установлено, что процесс деформирования носит нелинейный характер и протекает в основном в области псевдопластических деформаций. При увеличении действующей нагрузки до  $\sigma_1=0,2 R$  от разрушающей наблюдается уплотнение материала образца, а затем до  $\sigma_1=0,4 R$  - уплотнение с образованием микротрещин; при нагрузке более  $\sigma_1=0,4 R$

R начинается ускоренный процесс разуплотнения структуры, переходящий в лавинообразное разрушение образца (рис 3).

Сопровождается процесс разрушения появлением вертикальных, а затем наклонных макротрещин отрыва с последующим расширением материала образца в поперечном направлении и образованием вертикальных уплотненных конусов породы встречного направления. Подобным образом происходило разрушение каждого из

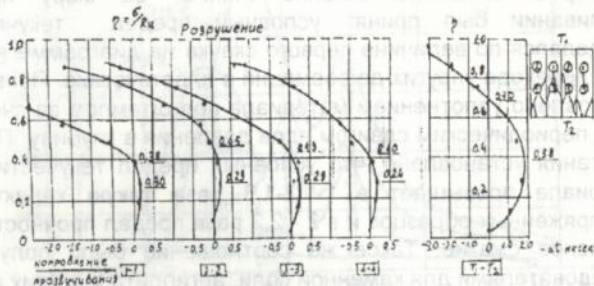


Рис. 3 Диаграмма прозвучивания цилиндрического образца глинистой каменной соли КСЦ-05

междукамерных целиков № 19-20 в природе на Северном и Хотинском сильвинитовым полях рудника Калуш, которые были специально разорваны поперечными камерами для натуральных наблюдений. Момент перехода породного массива в запредельное состояние, когда происходит увеличение внешнего объема элемента, характеризует коэффициент трещинообразования  $K_c=0,4$  или длительной прочности. Реологические параметры соленосных глин и каинито-лангбейнитовых руд не определялись, но могут быть приняты равными в среднем  $\alpha=0,731$  и  $\sigma=0,0044$  для аналогичных пород-аргиллита и каменной соли - по данным исследований В.Г.Мирошниченко, Д.И.Коліна, С.А. Константиновой.

Лабораторный цикл исследований включал, кроме того, определение физико-механических характеристик отходов калийного производства и твердеющих смесей на их основе, солевотважной массы Домбровского карьера. Для этого использовались существующие методы исследований грунтов, горных пород и растворов. Установлено, что первоначальная влажность галитовых отходов обогащения каинито-лангбейнитовых руд составляет 16-18%, остаточная 6-8%, рассолоотдача - 8%. Плотность отходов 1,6 - 1,8 т/м<sup>3</sup>, угол естественного откоса 40-41°, подвижность 2,9 - 5,3 см, продолжительность схватывания 20 - 22 час. С помощью галитовых отходов можно создавать в выработанном пространстве самотвердеющие массивы прочностью до 10 - 20 кг/см<sup>2</sup>, а с введением упрочняющих добавок - высокопрочные массивы твердеющей закладки до 30 - 80 кг/см<sup>2</sup>.

Для оценки влияния закладки на устойчивость междукамерных целиков были проведены испытания образцов закладочного материала вдавливанием штампа. Закладочный материал затвердевал в специальной форме (физической модели) под давлением, создаваемым за счёт упругой силы сжатия пружины. Испытания проводились путём вдавливания цилиндрического штампа с плоским основанием диаметром 10мм на машине УММ-5. За меру прочности при вдавливании был принят условный предел текучести, который определялся по величине первого скачка на диаграмме вдавливания, в точке перехода упругих деформаций в пластические. Появление скачков обусловлено уплотнением материала под штампом за счёт сокращения пор и периодическим сдвигом ядра давления в глубину. По результатам испытания установлено, что условный предел текучести закладочного материала превышает в 1,2-1,3 раза такую характеристику для ненапряжённых образцов и в 2 - 2,2 раза предел прочности образцов на одноосное сжатие. Такое же соотношение было получено многими исследователями для каменной соли, аргиллита и других пород.

Комплекс натуральных исследований включал наблюдения за состоянием горных выработок и междукамерных целиков, измерения продольной деформации с помощью деформатографов конструкции ВНИИГалургии, оснащенных записывающим устройством. Измерения поперечной деформации целиков производились с помощью измерительной штанги, вставленной в скважину, с индикатором часового типа ИЧ-10 на свободном конце. Натурные наблюдения и измерения деформаций производились на всех калийных рудниках Прикарпатья.

Одновременно проводились инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности. Максимальная деформация междукамерных целиков была зарегистрирована 1600 мк/сутки (600 мм/год) на Северном сильвинитовом поле в 1961-1962г.г. Величина оседания поверхности составила 500мм/год (рис.4). Вследствие разрушения междукамерных целиков оседание поверхности составило 4,5 м, что привело к образованию озера площадью более 30 га. Обработка результатов натуральных измерений показала, что деформация междукамерных целиков, расположенных на расстоянии  $H/2$  от границы выемочного участка, в 1,5-1,6 раза выше, чем целиков в приконтурной зоне. На Хотинском сильвинитовом поле рудника Калуш зарегистрирована величина максимальной скорости деформации междукамерных целиков до 400 мк/сутки, суммарное оседание поверхности 2,5 м. На руднике Голынь величина суммарного оседания поверхности составила 1,5м. На остальных рудниках - Ново-Голынь, СтКР-1, СтКР-2 - суммарное оседание незначительное (до 100мм), скорость вертикальной деформации междукамерных целиков не превышает 11 мк/сутки, т.е. междукамерные целики работают в пределах упругости. Это подтвердили и измерения напряжений методом разгрузки (к.т.н. Рыженьков А.М., Иванов А.А.): вертикальная

составляющая поля напряжений равна гидростатическому давлению, горизонтальная - вдвое меньше (СтКР-2).

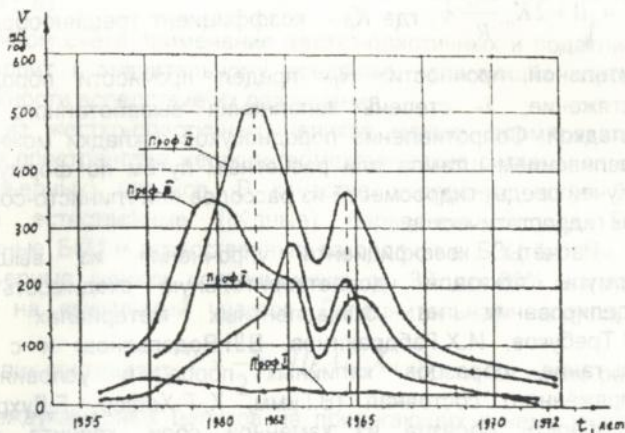


Рис.4 График сдвига земной поверхности над Северным сальвинитовым полем

По результатам натурных исследований с помощью прибора РВП-451 размер зоны интенсивного трещинообразования под влиянием взрывных работ не превышает 0,5-0,6. На такую же глубину происходит увлажнение рассолами междукамерных целиков и днищ камер при закладке. Поэтому при определении запаса прочности зона нарушения (или увлажнения) исключается из общей ширины междукамерных целиков.

Методы количественной оценки влияния закладки на устойчивость междукамерных целиков, основанные на теории упругости, не отражают работу системы целик-закладка в запредельной области. На основе структурных моделей разработан метод В.Л.Водопьянова, теории наследственных сред - И.Х.Габдрахимова, С.Г.Авершина и др. Эти методы могут быть использованы для определения времени существования податливых целиков, не учитывают физико-механические характеристики закладочного материала. Неверным является предположение о том, что при закладке камер несущей является только незаложённая часть целика (В.Д.Слесарев, В.Менцель, В.Дрейер, А.Михальчик), поскольку целик и закладка представляют собой неравнопрочные массивы.

В основу разработанного автором расчётного метода положена нелинейная теория прочности бетона О.Я. Берга, согласно которой несущая способность элемента повышается в зависимости от соотношения бокового давления и предела прочности на растяжение материала. Так при боковом сопротивлении монолитного закладочного

материала, равном условному пределу текучести  $\sigma_{3T}$ , величина коэффициента упрочнения междукамерного целика составит

$$K_y = \sqrt{1 + 2K_0 \frac{\sigma_{3T}}{R_p} \lambda}, \text{ где } K_0 - \text{коэффициент трещинообразования или}$$

длительной прочности;  $R_p$  - предел прочности пород целика на растяжение;  $\lambda$  - степень заполнения выработанного пространства закладкой. Сопротивление породной закладке можно определить вдавливанием штампа или расчётным путём по формулам механики сыпучей среды, гидросмесей из расколов или глинисто-солевых шламов - как гидростатическое.

Расчёты коэффициента упрочнения из вышеприведенной формулы показали удовлетворительную сходимость с данными моделирования на эквивалентных материалах (М.И.Агошков, А.Л.Требуков, И.Х.Габдрахимов, В.Л.Водопьянов) и с результатами испытания образцов калийных пород в условиях объёмного напряжённого состояния (В.Гимм, К.-Г.Хефер, Г.Духров): несущая способность образца из каменной соли, каинита и карналлита повышается в зависимости от бокового давления по уравнению

$$R_t = 0.1 \cdot (R + 40 \cdot \sqrt{\sigma_{3T}}), \text{ МПа, полученному автором при обработке}$$

графиков испытаний.

Устойчивость геомеханических систем оценивается комплексным показателем - запасом прочности, который учитывает глубину и параметры разработки, мощность обрабатываемого пласта, физико-механические свойства рудосодержащих и вмещающих пород. Приведены формулы для определения запаса прочности ленточных, прямоугольных, квадратных и столбчатых (круглых) целиков. При системах с жестким поддержанием кровли запас прочности междукамерных целиков должен быть не менее 2,5. Процесс деформирования жестких целиков протекает в три стадии: нарастающей, установившейся и затухающей ползучести. Междукамерный целик не разрушается, а переходит в новое устойчивое состояние за счёт переуплотнения материала. Поэтому при запасе прочности целиков больше 2,5 устойчивость геомеханических систем сохраняется неограниченное время. Процесс деформирования междукамерных целиков с запасом прочности меньше 2,5 завершается разрушением. При запасе прочности меньше 1,4 междукамерные целики относятся к податливым, сохраняющим несущую способность непродолжительное время. Для жестко-пластичных целиков время устойчивого существования повышается с увеличением запаса прочности от 1,4 до 2,5. В первом приближении время устойчивого существования жестко-пластичных и податливых целиков (сутки) можно определить из преобразованной автором формулы И.Х.Габдрахимова

$t = \frac{1}{\beta} \ln \frac{1}{(1+B-n)}$  при значениях реологических параметров  $\beta=0,0002$ ;

$B=1,5$ . В конечном счёте применение жестко-пластичных и податливых целиков приводит к значительному оседанию налегающих пород и земной поверхности вследствие их разрушения.

Однако из жестко-пластичных целиков можно формировать в выработанном пространстве жесткие геомеханические системы за счёт опорных (барьерных) целиков. В качестве последних могут быть использованы естественные (рудные) барьерные целики БРЦ, комбинированные БКЦ и искусственные закладочные БЗЦ целики или полосы. Барьерные целики воспринимают от 30 до 60% нагрузки, действующей на выемочный участок. Дополнительная нагрузка на

барьерный целик составляет  $P = \frac{1}{2} \gamma \cdot HLA / (A+a)$  и численно равна недогрузке междукамерных целиков на прилегающих к нему участках выработанного пространства. Над междукамерными целиками недогрузка распределяется в зависимости от их расположения в

выработанном пространстве по закону  $P_i = \frac{1}{2} \gamma \cdot \frac{HA \cdot (j-i)}{j}$ ,

где  $j$  - количество междукамерных целиков в пределах половины выемочного участка;  $i$  - порядковый номер целика, считая от границы выработанного пространства. Предложенный автором закон распределения нагрузки подтверждают натурные измерения деформации целиков на Северном сильвинитовом, Северном каинитовом и Хотинском сильвинитовом полях рудника Калуш, измерения напряжений в междукамерных целиках (Мараков В.Е., Нестеров М.П. и Непримеров А.Ф., 1978). С учётом разгрузки барьерным целиком запас прочности каждого междукамерного целика в зависимости от расположения в выработанном пространстве определяется из формулы

$$n_i = R \sqrt{(a-1)^3 / h} \left[ \gamma H(A+a) + \gamma_0 h a - \frac{1}{2} \gamma H A (j-i) / j \right]$$

Равнопрочную геомеханическую системы можно сформировать из междукамерных целиков переменной ширины (убывающей к границе выемочного участка), но при одинаковом запасе прочности.

Применяя полную закладку выработанного пространства можно создать самую надёжную геомеханическую систему, обеспечить минимальное оседание и исключить сосредоточенные провалы земной поверхности. Запас прочности междукамерных целиков с учётом коэффициента упрочнения закладкой определяется из формулы

$$n = R \sqrt{\frac{(a-1)^3}{h} (1 + 2K_o \frac{\sigma_{\text{гг}}}{R_p} \cdot \lambda)} / [\gamma H(A+a) + \gamma_o h a]$$

Однако полная закладка твёрдым материалом практически неосуществима в связи с большими объёмами выработанного пространства, высокими трудозатратами. Оптимальным с точки зрения повышения извлечения ископаемых солей, экономии закладочного материала, сохранения длительной устойчивости налегающих пород и земной поверхности является вариант геомеханической системы, формируемой из междукамерных целиков с запасом прочности не менее 1,7 и комбинированных барьерных полос БКЦ с запасом прочности не менее 2. Ширина БКЦ зависит от глубины разработки, длины выемочного участка по простиранию, прочности закладочного материала. Устойчивость её оценивается из формулы

$$n_k = R j_o \sqrt{\frac{(a-1)^3}{h} (1 + 2K_o \frac{\sigma_{\text{зг}}}{R} \lambda)} / \left[ \gamma HB + \frac{1}{2} \gamma HLA / (A+a) + \gamma_o h B \right],$$

где  $j_o$  - количество заложенных камер в комбинированной полосе.

Такая геомеханическая система может быть принята за стандарт. Пространство между БКЦ может быть заполнено рассолами или глинисто-солевыми шламами при ликвидации. В этом случае запас прочности каждого междукамерного целика с учётом гидростатического давления ликвидационного заполнителя на стенки и кровлю камеры, разгрузки БКЦ можно определить из формулы

$$n = R \sqrt{\frac{(a-1)^3}{h} (1 + 2K_o \frac{\gamma_p \cdot H_p}{R_p} \cdot \lambda)} / \left[ \gamma H(A+a) + \gamma_o h a - \frac{1}{2} \gamma H A (j \cdot i) / j - \gamma_p \cdot H_p \cdot A \right]$$

где  $\gamma_p$ ,  $H_p$  - плотность и высота столба рассолов.

Для оценки устойчивости барьерного закладочного целика БЗЦ получена формула  $n_{\text{зц}} = \sigma_{\text{зг}} \sqrt{\frac{(B-1)^3}{h} / \left[ \gamma HB + \gamma_o h B + \frac{1}{2} \gamma HLA / (A+a) \right]}$ ,

рудного (естественного) целика БРЦ

$$n_p = R \sqrt{\frac{(B-1)^3}{h} / \left[ \gamma HB + \gamma_o h B + \frac{1}{2} \gamma HLA / (A+a) \right]}$$

Методика формирования устойчивых геомеханических систем.

1. При неограниченной последовательности камер и междукамерных целиков, т.е. когда длина выемочного участка  $L$  по простиранию значительно превышает глубину разработки  $H$  ( $L \gg H$ ), междукамерные целики формируют с запасом прочности не менее 2,5. В этом случае устойчивость налегающих пород и земной поверхности обеспечивается неограниченное время без применения закладки. Потери полезного ископаемого при таких жестких геомеханических системах достигают максимального значения.

2. Когда длина выемочного участка по простиранию, ограниченного безрудными зонами, составляет  $L < H$ , но не более 400м, междукамерные целики формируют с запасом прочности не менее 1,7. Устойчивость налегающих пород и земной поверхности обеспечивается неограниченное время без закладки, потери полезного ископаемого и себестоимость 1 т руды минимальные.

3. В том случае, когда рудное поле разделяют на выемочные участки длиной по простиранию  $400 \geq L \leq H$  барьерными рудными целиками с запасом прочности не менее 2, запас прочности междукамерных целиков должен быть не менее 1,7. Геомеханическая система обладает длительной устойчивостью, потери на 5 % ниже, чем при жесткой системе с неограниченной последовательностью междукамерных целиков ( $n \geq 2,5$ ).

4. За стандарт принята геомеханическая система из неограниченной последовательности камер и междукамерных целиков с запасом прочности не менее 1,7, которая разделяется на участки длиной по простиранию  $400 \geq L \leq H$  комбинированными барьерными целиками с запасом прочности не менее 2. БКЦ формируют путём заполнения камер породносухой или монолитной закладкой. Такая геомеханическая система обладает длительной устойчивостью, формируется с минимальным расходом закладочного материала, потери полезного ископаемого на 10-15 % ниже, чем при жесткой геомеханической системе без закладки ( $n = 2,5$ ). При заполнении выработанного пространства рассолами в процессе ликвидации запас прочности междукамерных целиков повышается в 1,5 - 2 раза за счёт гидростатического давления рассолов на стенки и кровлю камер.

5. Вместо БРЦ, БКЦ можно формировать закладочные (искусственные) барьерные целики с запасом прочности не менее 2.

6. Ширину барьерных целиков (рудных, комбинированных, закладочных) принимают из условия, чтобы запас прочности их был не ниже вышеуказанного значения с учётом бокового сопротивления закладки, прочности рудосодержащих пород.

7. При полном погашении выработанного пространства закладкой достигается минимальное оседание налегающих пород и земной поверхности, исключаются сосредоточенные провалы, но запас прочности оставляемых междукамерных целиков должен быть не менее 1,7.

В соответствии с предложенной методикой выполнена расчётная схема и определены параметры разработки до глубины 800м для рудника Пийло. Расчёты показали, что применение системы разработки с жесткими целиками сопровождается максимальными потерями полезного ископаемого (до 77,7%), с оставлением рудных барьерных целиков снижаются на 5%, а с возведением комбинированных барьерных целиков (стандартный вариант геомеханической системы) потери снижаются на 10-15%.

Кроме междукамерных и барьерных целиков к несущим элементам камерной системы разработки относятся надортовые, надштрековые и подштрековые целики, междуэтажные и подштрековые потолочины. Анализ геомеханического состояния выработанного пространства показал, что разрушения вышеуказанных целиков не наблюдалось. Надштрековые и подштрековые целики образуют барьерный целик, который разгружает выемочные участки по восстанию и падению, что не учитывают существующие расчётные методы. Междуэтажная потолочина принята по проекту толщиной 10м, фактическая толщина составляла в отдельных камерах 3м, при перекрестной ориентации камер Хотинского участка 4м. Перекрёстная и несоосная отработка калийных залежей возможна при толщине междуэтажной потолочины не менее 1,2А, что подтверждают результаты отработки калийных залежей на рудниках Ново-Гольнь (пласты ЛК-верхний - ЛК-3с, ЛК-3н и ЛК-1/2) и Калуш (Верхняя сильвинит-каинитовая и Нижняя каинитовая линзы), исследования на моделях Г.Т.Нестеренко (1962).

В отличие от междуэтажной потолочины кровля очистной камеры выполняет роль несущего элемента, непосредственно связанного с налегающим массивом пород. От толщины такого несущего элемента и сцепления его с налегающими породами зависит величина предельно устойчивого пролёта выработанного пространства (ширина камеры). Максимальная ширина пролёта камер составляет на калийных рудниках Прикарпатья 30м, ширина одиночной камеры Ильза на руднике Гольнь достигала 40м, существует более 300 сопряжений спаренных и строенных горловин камер шириной до 30м, размеры луговен на рудниках Калуш и Ст.КР-1 достигают 200м в диаметре. Проверка по методике ВНИИ подтвердила ширину допустимого пролета камер 30м. Развитие геомеханических систем происходит в направлении увеличения ширины камер с плоским дном до 15м, с траншейной подсечкой до 30м, снижения запаса прочности междукамерных целиков в пределах ограниченных по простиранию выемочных участков до 1,7 - 2,0; уменьшения толщины подштрековой и междуэтажной потолочин до 6м; разработки мощных и крутопадающих залежей камерами повышенной этажности высотой до 120м, длиной по простиранию до 120м крутопадающих пластов мощность до 20м; при системе подэтажных штреков; разработки полого-наклонных залежей с ленточно-прерывными и квадратными целиками.

В зависимости от устойчивости геомеханических систем процесс сдвижения налегающих пород и земной поверхности протекает с различной интенсивностью. Анализ результатов натурных измерений деформаций междукамерных целиков и земной поверхности показал, что конечную деформацию земной поверхности с учётом прочностных характеристик пород, слагающих междукамерные целики, необходимо определять из формулы  $\eta = h \cdot \Pi \cdot K_s \cdot C_n$ , где  $h$  - вынимаемая мощность залежи, м;  $\Pi$  - степень подработанности налегающего породного массива;  $K_s$  - коэффициент извлечения полезного ископаемого,  $C_n = 1/n$

- коэффициент нагружения междукамерных целиков. Продолжительность процесса сдвижения горных пород и земной поверхности определяется из отношения величины конечного оседания к средней скорости сдвижения поверхности  $t = \eta / v_{cp}$ ; при  $v_{cp} = 50 / (1,4n - 1)$  мм/год  $t = 20hPK_0(n-1)/\eta$ , лет. Предложенная методика значительно упрощает определение параметров сдвижения горных пород и земной поверхности. Расчёты по этой методике адекватны реальным геомеханическим процессам в горных массивах, подработанных как системами с жестким поддержанием кровли, так и с жестко-пластичными и податливыми целиками. При системах с жестким поддержанием кровли налегающая толща пород опирается на междукамерные целики, при плавном опускании - на массив из разрушенных жестко-пластичных и податливых целиков. Плавный прогиб поверхности произошёл над Северным (до 4,5м) и Хотинским (до 2,5м) сильвинитовыми полями рудника Калуш без разрыва сплошности благодаря высокой пластичности налегающих пород. Причём установлено, что сильно нарушенные междукамерные целики сохраняют несущую способность продолжительное время, работая в режиме шарнирной опоры.

Аномальные проявления горного давления в виде сосредоточенных провалов земной поверхности наблюдались на устойчивых участках - Северном каинитовом и Центральном полях рудника Калуш, где скорость сдвижения поверхности составляла 10-15мм/год при общей величине оседания не более 0,5м. С 1975 по 1993 годы образовалось 10 воронок диаметром от 3 до 30м глубиной до 8м. Максимальный размер просадки под улицы Пархоменко составил 290х240м (общая площадь 62000м<sup>2</sup>), зона развития трещин достигала в диаметре 300м. Радиус прогиба поверхности составил менее 1км, что гораздо меньше допустимого, но разрыва поверхности не произошло.

Основная причина возникновения провалов земной поверхности - проникновение вод и рассолов в горные выработки. На Северном каинитовом поле это произошло по Кропивницкому покрову и в ослабленной разрывной зоне привело к образованию карста вследствие выщелачивания галита. Механизм возникновения провала следующий: карстовая полость развивается навстречу водотоку за счёт отслоения увлажнённых пород, когда вес пород приповерхностной пробки над карстовой полостью становится больше сил сцепления (напряжений среза) и трения на контакте с боковыми породами, происходит внезапное обрушение пород над карстом - толчкообразное оседание массива, которое сопровождается горным и воздушным ударом, сейсмическим эффектом и может вызвать техногенное землетрясение. Это может служить вторичным импульсом для образования провала в соседней карстовой полости, где под воздействием восходящего воздушного потока происходит разрыв и поднятие приповерхностных слоёв над воронкой с последующим их падением и закупоркой устья. Такое явление наблюдалось после образования воронки №8, когда

вследствие воздушного удара была образована вторичная воронка над камерой №7. Внешним, первичным импульсом для обрушения приповерхностной пробки могут служить подвижки земной коры по линиям разломов или подземные толчки, обусловленные процессом горообразования в зоне Карпатской складчатой страны, техногенными землетрясениями.

Процесс развития карста можно обнаружить геосейсмическим, геофизическим, гравиметрическим, звуко-и биолокационным (БЛМ) методами, но главная задача состоит в том, чтобы предупредить возникновение провала. Развитие карста можно предупредить путём заполнения выработанного пространства рассолами, а возникновение провала - путём закладки камер монолитным материалом. Опережающий геомеханический прогноз возникновения сосредоточенных провалов должен основываться на данных изучения геологического строения налегающей толщи пород и выявления расположения кровли будущих камер относительно контактов мыдлярки и соленосной толщи пород. Отработка запасов в камерах должна производиться на расстоянии не ближе 6м до пласта рассланцованных глин.

К целикам специального назначения относятся водозащитная потолочина, околоствольные, водоохраные целики у геологоразведочных скважин, барьерные (междублоковые и междушахтные), охранные под магистральными железными дорогами, под водными объектами. С помощью стандартного варианта геомеханической системы можно производить отработку охранных целиков под магистральными железными дорогами при условии, что фактическая глубина разработки больше безопасной  $H_0 = 0,05t \cdot K_0 / (1,4n - 1)$ , где  $t = 50$  - продолжительность оседания земной поверхности, лет;  $K_0 = 300$  - коэффициент безопасной глубины;  $n$  - запас прочности междукамерных целиков.

Отработка запасов других целиков специального назначения - околоствольных, водозащитных - должна производиться на жесткие геомеханические системы с запасом прочности междукамерных целиков не менее 3 и на сейсмически безопасном расстоянии  $r = 5.2 \cdot \sqrt[3]{B}$  (здесь  $B$  - количество одновременно взрываемого ВВ, кг) до охраняемых объектов, относящихся к первой категории охраны - ствола шахты, скважины, почвы соляного зеркала. При отработке залежей под водными объектами должна оставаться водозащитная потолочина толщиной не менее 60м на Стебникском месторождении и не менее 30м на Калуш-Голыньском, в переходной зоне между открытыми и подземными работами толщина водозащитной потолочкины должна быть не менее 60м под дном и до бортов карьера. Отработка водоохраных целиков у геологоразведочных скважин возможна после повторного тампонажа скважин с известным искривлением ствола снизу из горных выработок на высоту не менее 30м, с неизвестной инклинометрией -

после повторного тампонажа скважин с поверхности на 30м ниже почвы основного водоносного горизонта при дополнительном условии - безводности надсолевой толщи. При отработке водоохраных целиков у геологоразведочных скважин на руднике Пийло дополнительное извлечение руды может составить 15 млн.т., а охранного целика под магистральной железной дорогой Калуш - Стрый 12,6 млн.т.

Анализ практического опыта и исследований показал, что для длительной охраны от проникновения вод достаточной была толщина потолочины 6м на руднике Гольнь и недостаточной более 80м на Ст.КР-2, 50-120м -соляномергелистая толща на Березниковском калийном руднике №3. При достаточно устойчивых несущих элементах системы разработки происходили прорывы вод в горные выработки, в том числе и заложенные камеры, на калийных рудниках ФРГ, в Солотвинский содерудник №7, в Артемовский рудник №1 и др. Ликвидация водопроявлений путём откачки воды насосами привела вследствие легкой растворимости солей к увеличению притока и к затоплению рудников. Гидроизоляция с помощью перемычек, длина которых достигала иногда 200м, была в большинстве случаев безуспешной (за исключением перемычки в штреке 43-1 на Ст.КР-1). Опыт рудника Калуш показал, что на калийных рудниках Прикарпатья можно бороться с водопроявлениями методом сооружения перемычек: прорыв вод реки Сивки в уклон Д был ликвидирован путём сооружения простой перемычки из бетонной стенки толщиной 0,7м, глинобитной стенки толщиной 0,5м и соляной пробки между ними длиной 4,5м. Воронка размером 6,5х4,5х4м была засыпана породами гипсо-глинистой шляпы с поверхности. Высокой гидроизоляционной способностью обладает перемычка между Центральным и Хотинским сильвинитовыми полями рудника Калуш.

Накопленный опыт и проведенные исследования свидетельствуют о том, что для калийных рудников наиболее важной задачей является предупредить возникновение водопроявлений, поскольку борьба с возникшими водопроявлениями может оказаться безуспешной. Поэтому безусловно надёжным в смысле сохранения калийной шахты как технологической системы является восходящий способ отработки, когда запасы на контакте с водозащитной потолочиной будут отработаны в последнюю очередь. В этом случае возможна отработка запасов в водозащитной потолочине.

Составной частью системы комплексного освоения калийных месторождений Предкарпатья является создание и внедрение рациональных способов управления напряжённо-деформированным состоянием пород вокруг выработок. Натурными наблюдениями и исследованиями установлено, что устойчивость горных выработок, пройденных в соленосных глинах и рудосодержащих породах, сохраняется длительное время без возведения крепи. Интенсивное проявление горного давления ожидается с глубины больше 800м, когда породы переходят из упруго-пластического состояния в вязко-

пластическое течение. Влияние очистных работ на устойчивость горно-подготовительных выработок установлено лишь на участках, где запас прочности междукамерных целиков меньше 2,0. Для охраны выработок, проводимых в рассланцованных глинах, необходимо возводить рамную податливую крепь вразбежку, а начиная с глубины 400-500м - сплошную рамную крепь.

Нарушения крепи и устойчивости боковых пород наблюдались в стволах, в сопряжениях стволов с приствольными выработками, в выработках околоствольных дворов и их сопряжениях, в рудоспусках, в камерах большого сечения - разгрузки, дробления, дозаторных, электровозных депо. Наиболее остро проблема сохранения устойчивости горных выработок и сопряжений встала на руднике Пийло. Так в вентиляционном стволе ещё на стадии вскрытия бетонная крепь была разрушена на длине 200м и заменена на тубинговую, деформирована тубинговая крепь ствола и сопряжений на гор.-20, -190, -214м. Во вспомогательном стволе на глубине 480м несколько ярусов тубинговой крепи было выброшено вовнутрь, деформированы проводники и расстрелы. Деформация крепи и армировки обусловлена ползучестью слабых вмещающих пород - мыдлярки. Кроме того, 100м вспомогательного ствола было заполнено водой через неплотности перекрытия. На этом участке тубинговая крепь также была деформирована. После засыпки гравийно-песчаной смесью и откачки воды предусматривается восстановить крепь ствола в процессе вторичной проходки. Сопряжения стволов с приствольными выработками были закреплены двухслойной крепью: внутренний слой (жесткая оболочка) толщиной 0,5м был выполнен из железобетона, наружный - из податливого материала, приготовленного из смеси опилок, песка, каустического магнезита, рассола в соотношении 10:1:1:2. Основным недостатком такого типа двухслойной крепи - ограниченный запас податливости.

Выбор способа охраны выработки производится на основе достоверного прогноза состояния приконтурного массива пород. Изучение существующих методов оценки состояния горных выработок показало, что аналитические методы расчёта деформации, основанные на теории упругости и наследственных сред, дают заниженные результаты по сравнению с данными натуральных измерений. Для прогнозирования деформации горных выработок, пройденных в соляных породах, подходят экспериментальные методы ДонУГИ и ВНИМИ. Однако состояние приконтурного массива соляных пород наиболее достоверно характеризует коэффициент устойчивости. По аналогии с запасом прочности междукамерных целиков коэффициент устойчивости - это комплексный показатель, который учитывает физико-механические характеристики и строение вмещающих пород, их обводненность, глубину заложения, форму и размеры выработок, их взаимное влияние. Значение коэффициента устойчивости определяется из соотношения несущей способности вмещающих пород и действующего напряжения

на контуре выработок по методике КузНИИШахтоостроя (Л.М.Ерофеев, Л.А.Мирошникова). По коэффициенту устойчивости можно определить конечную деформацию горной выработки и величину горного давления. Результаты дают хорошую сходимость с данными натурных измерений. Существующая классификация ВНИИ породных соляных массивов дополнена запасом устойчивости: при  $n > 1$  - устойчивые, деформация до 200мм; при  $n = 1 \div 0,5$  - среднеустойчивые, деформация 200-300мм; при  $n = 0,5 \div 0,2$  - неустойчивые, деформация 300-500мм; при  $n < 0,2$  - весьма неустойчивые, деформация более 500мм.

Для обеспечения длительного эксплуатационного режима горных выработок, пройденных в соляных породах с коэффициентом устойчивости меньше 0,5, необходимо применение эффективных способов разгрузки приконтурных массивов от повышенных деформаций и напряжений. В диссертационной работе разработаны способы разгрузки приконтурных массивов сплошными или дискретными, продольными или радиально-поперечными, продольно-поперечными щелями. Запас податливости на заданный срок службы выработки обеспечивается за счёт создания необходимого количества щелей, которое определяется из нового критериального соотношения - равенства объёмов смещаемых в выработку и поглощаемых техногенными полостями породных масс. Исследовано новое направление разгрузки горных выработок и узлов сопряжений с помощью скважин. Максимальный разгрузочный эффект обеспечивает способ разгрузки узла сопряжения ствола с приствольными выработками за счёт кольцевой выработки, продольных и радиально-поперечных скважин, выбуриваемых из неё. Механизм управления горным давлением согласно этому способу состоит в поглощении продольными, радиально-поперечными скважинами и кольцевой выработкой деформации околоствольного массива пород, что обеспечивает устойчивость жесткой оболочки крепи в узле сопряжения. Время его устойчивого существования, обусловленное суммарным разгрузочным эффектом от техногенных полостей, определяется из формулы

$$t = 1370 \left[ (D - \sqrt{D^2 - 0,5 j_0 d_1^2}) + (D - \sqrt{D^2 - j_1 j_0 d_1^2}) + (D - \sqrt{D^2 - 0,3 \pi \cdot \varphi \cdot D_k^2}) \right] / v, \text{ лет}$$

где  $D$  - диаметр ствола и приствольных выработок, м;  $j_0, j_1$  - количество продольных скважин и радиально-поперечных в промежутке между ними;  $d, d_1$  - диаметр продольных и радиально-поперечных скважин, м;  $\varphi$  - степень смыкания сечения кольцевой выработки ( $0,2 \div 0,3$ );  $D_k$  - диаметр кольцевой выработки, м;  $v$  - скорость ползучести приконтурного массива пород, мк/сутки. Рекомендуемые параметры разгрузки: диаметр кольцевой выработки  $D_k = 0,2 \div 0,4D$  ( $D_k \leq 3,0$ ); расстояние от контура ствола до оси кольцевой выработки - не более  $2R$  ( $R$  - радиус ствола, м); диаметр продольных скважин  $d = (0,2 \div 0,4)m$ ; диаметр радиально-поперечных скважин  $d_1 = 0,2m$ ; средняя длина ради-

ально-поперечных скважин  $l_1=1,25D$ , продольных  $l=10m$ . Применительно к условиям рудника Пийло разработаны технологические схемы разгрузки узлов сопряжений вентиляционного и вспомогательного стволов, определены объёмы буровых и проходческих работ.

Предложенный способ (рис.5) разгрузки обладает чрезвычайной гибкостью, позволяет регулировать устойчивость ствола и сопряжения при одностороннем давлении крутопадающих пластов вмещающих пород, предотвратить закручивание стакана ствола за счёт увеличения запаса податливости со стороны повышенного давления пород. По мере смыкания сечения разгрузочные скважины могут быть разбурены повторно, а кольцевую выработку можно восстановить до первоначального сечения. Это позволяет повысить долговечность узла сопряжения ствола с приствольными выработками. Отличительной особенностью способа является то, что задача сохранения длительной устойчивости узла сопряжения может быть решена в обратном порядке: принятое количество скважин можно скорректировать после определения фактической скорости деформации приконтурного массива.

Продольно-скважинный способ может быть использован для

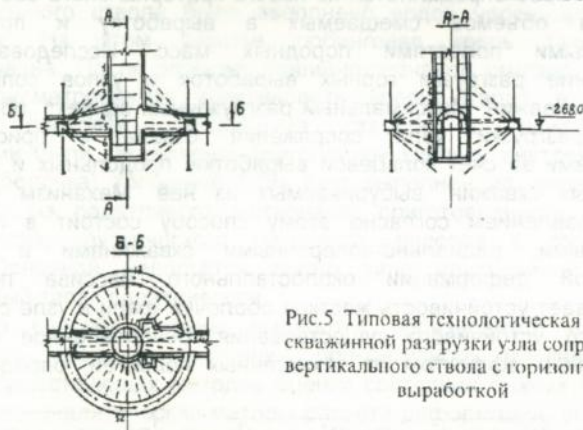


Рис.5 Типовая технологическая схема скважинной разгрузки узла сопряжения вертикального ствола с горизонтальной выработкой

разгрузки камер большого сечения с помощью двух выработок, проводимых на уровне свода камеры, и одной под днищем камеры с последующим выбуриванием скважин параллельно стенкам и днищу камеры. Способ позволяет разгрузить камеру не только от повышенных деформаций приконтурного массива пород, но и от повышенных напряжений в своде и днище камеры.

Глава 6. Освоение и ликвидация выработанного пространства. Выработанное пространство шахт и рудников относится к пространственным ресурсам недр, направления использования которых характери-

зуется большим многообразием. По мнению многих специалистов д.т.н.Е.В.Петренко, Ю.Д.Дядькина, П.П.Бессолова, В.Ф.Бызова, В.Д.Руденко и др. освоение подземного пространства в недалёком будущем приобретёт значение, вполне сопоставимое и даже более важное, чем добыча полезных ископаемых. К концу нынешнего столетия наступила по утверждению академика РАН Е.И.Шемякина эпоха новых устремлений - освоения выработанного пространства с широкими утилитарными целями - как будущей среды обитания. Переход к интенсивному освоению подземного пространства предопределяют энергетика, экономика, экология.

Интенсивное освоение подземного пространства на калийных рудниках Прикарпатья в условиях рыночной экономики является попутным процессом, который должен приносить ощутимый экономический эффект. Основное назначение подземного пространства на современном этапе развития горной технологии - использование в качестве ёмкости для размещения отходов калийного производства. Ликвидация открытого выработанного пространства на карьерах путём заполнения вскрышными породами с точки зрения экономики и экологии является наиболее оптимальным решением. Одним ярусом высотой 104,6м отсыпан внутренний отвал Скелеватского карьера (ЮГОК), на подтопленное карьерное пространство (33м) Гологорского карьера были размещены одним ярусом высотой 144м вскрышные породы Карагайского карьера (завод Магнезит), высокие отвалы на слабом основании отсыпаны на Сибайском, Мукуланском, Дашкесанском, Занзегурском, Северо-Пролетарском, Алтын-Топканском карьерах, карьере Мурунтау, на Качарском, Коршуновском, Ковдорском и Костомукшском ГОКах, на Кия-Шалтырском руднике. На основании исследования опыта отсыпки высоких отвалов на карьерах СНГ сделан вывод, что вскрышные породы Северного участка Домбровского карьера можно размещать на подтопленное карьерное пространство Южного участка одним ярусом высотой до 90м при соблюдении разработанного технологического режима отсыпки.

Глава 7. Экономическая эффективность разработки. За исходный экономический критерий эффективности разработки калийных месторождений Предкарпатья принят норматив рентабельности калийно-магниевое производства не менее 30%. Для обеспечения такого экономического результата необходимо знать прежде всего ценность каинито-лангбейнитовых руд. Извлекаемую ценность 1т каинито-лангбейнитовой руды можно определить из формулы:

$$Ц = 0,01 \rho^k \cdot i^k \cdot u^k + 0,01 \rho^M \cdot i^M \cdot u^M + 0,01 \rho^c \cdot i^c \cdot u^c$$

где  $\rho^k, \rho^M, \rho^c$  - содержание полезных компонентов в товарной руде: окиси калия, магния, хлористого натрия, %;  $i^k, i^M, i^c$  - извлечение полезных компонентов в товарный продукт (калимагнезию, металлический магний, в техническую или пищевую соль);  $u^k, u^M, u^c$  -

отпускная цена за 1т полезных компонентов. Содержание полезных компонентов в товарной руде ниже от содержания в промышленной руде вследствие засорения пустой породой при добыче на коэффициент разубоживания. Промышленная ценность 1т руды (в рудном теле) превышает извлекаемую, поскольку определяется без учёта коэффициента извлечения каждого компонента в продукт. На извлечение  $K_2O$  оказывает влияние содержание в руде нерастворимого остатка, которое необходимо учитывать коэффициентом  $\mu = 0,3 + \alpha_n / (\alpha + 7)$ , где  $\alpha_n$  - содержание н.о. в стандартной руде (16%);  $\alpha$  - содержание нерастворимого остатка в товарной руде.

На основе экономико-математического анализа работы калийно-магниевого производства установлено, что основным полезным компонентом является по ценности металлический магний, а окись калия и хлористый натрий являются попутными. В натуральном выражении основным компонентом является окись калия. Необходимым условием высокоэффективной и стабильной работы является повышение содержания магния в товарной руде и извлечения его в продукт. Переработка руды Стебниковского ГГХП Полиминерал на Калушском заводе калийных удобрений в принципе возможна, но уровень рентабельности калийно-магниевого производства будет гораздо ниже существующего в связи с высокими транспортными расходами.

Основу методики оценки рационального использования недр составляет снижение непроизводительных затрат в зависимости от повышения извлечения ископаемых солей с учётом коэффициента технологичности системы.

$$\Xi = 0,95 \varphi_1 C_q \frac{Z_q}{Z_n + Z_q} D \cdot \frac{K_{TC}^6}{K_{TC}^{II}}, \text{ руб./год}$$

где  $\varphi_1$  - коэффициент, учитывающий долю непроизводительных затрат в себестоимости добычи 1т руды  $C_q$ ;  $Z_n, Z_q$  - исходные и дополнительно-извлекаемые запасы руды;  $K_{TC}^6, K_{TC}^{II}$  - соответственно базовый и новый коэффициенты технологичности системы разработки, пог.м на 1т добычи;  $D$  - годовая производственная мощность рудника, т/год. Экономия от снижения потерь ископаемых солей является составной частью общего экономического эффекта от применения систем разработки с закладкой выработанного пространства, который выражается формулой  $E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_n - Q$ , руб. где  $E_1$  - экономия от сохранения ценной полезной площади на поверхности, руб.;  $E_2$  - экономия непроизводительных расходов на обслуживание отвального хозяйства, руб.;  $E_3$  - экономия затрат на снос и последующее воспроизводство охраняемых объектов на поверхности, руб.;  $E_4$  - экономия от снижения потерь ископаемых солей;  $E_n$  - экономия затрат на ликвидацию рудника, руб;  $Q$  - затраты на обслуживание закладочного

комплекса, руб. В этой формуле не учтён экологический ущерб в случае размещения отходов на поверхности, который пока не получил конкретной экономической оценки.

При восходящем порядке отработки месторождения кроме того достигается экономия затрат на возведение гидроизоляционных перемычек в горловинах камер и в откаточных выработках, затрат на устройство дренажных систем. Наибольшая экономия достигается за счёт исключения затрат на ликвидацию, которые достигают стоимости строительства рудника: ликвидация рудника Калуш длилась 10 лет, затраты на ликвидацию превышали 30 млн.руб.

Комплексный подход к оценке системы разработки с закладкой выработанного пространства позволяет обеспечить рациональное использование недр, сохранить экологически чистой окружающей среду, предотвратить оседание земной поверхности. Только внедрение восходящего способа отработки калийных месторождений Предкарпатья и размещения отходов обогащения каинито-лангбейнитовых руд в выработанном пространстве позволяет обеспечить высокий уровень эффективности калийных предприятий.

### **Заключение.**

В диссертационной работе изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований, посвященных решению совокупности проблем равномерной отработки запасов калийных месторождений Предкарпатья, надёжного поддержания налегающих пород и земной поверхности, обеспечения длительной устойчивости горных выработок, размещения отходов калийного производства, имеющих важное народно-хозяйственное значение. Основные научные и практические результаты заключаются в следующем.

1. Разработаны горнотехнологические, геомеханические и экономические основы высокоэффективной и безопасной добычи каинито-лангбейнитовых руд, образующие систему комплексного освоения калийных месторождений Предкарпатья.

2. Установлено, что надёжность технологии вскрытия калийных месторождений Предкарпатья скважинами специального назначения обеспечивается за счёт многослойной гидроизоляции галечникового водоносного горизонта, соляного зеркала и всей налегающей толщи пород с помощью тампонажных растворов на основе каустического магнетита, гематита и хлормagneйевых рассолов.

3. Эффективность проходки горных выработок по слабым с твердыми включениями породам существенно повышается за счёт предварительного ослабления призабойного массива безвыбросным взрывом или НРС-1 с последующей вторичной отбойкой породы фрезерным исполнительным органом комбайна.

4. Для равномерной отработки калийных залежей различной и переменной мощности создана система управления технологией добычи каинито-лангбейнитовых руд, сущность которой состоит в том,

чтобы средневзвешенные значения трудоёмкости и себестоимости добычи были ниже аналогичных показателей для пласта стандартной мощности. Система позволяет установить кондиционную выемочную мощность, долевого объём добычи на пластах различной мощности, а также забалансовых запасов.

5. Изучен механизм деформирования и разрушения соляных пород на образцах ультразвуковым методом и в натуральных условиях на междукамерных целиках. Процесс разрушения сопровождается появлением вертикальных, а затем наклонных макротрещин отрыва с последующим расширением материала элемента в поперечном направлении и образованием вертикальных уплотнённых конусов встречного направления. Момент перехода породного массива в запредельное состояние, когда начинается увеличение внешнего объёма элемента, характеризует коэффициент трещинообразования или длительной прочности  $K_0=0,4$ . При действующем напряжении меньше предела длительной прочности разрушение элемента не происходит, т.е. за счёт переуплотнения материала устойчивость целика или образца сохраняется неограниченное время.

6. Восстановление и повышение несущей способности нарушенного трещинами целика возможно при помощи закладки, за величину бокового сопротивления которой принят условный предел текучести, определяемый при вдавливании цилиндрического штампа с плоским основанием. С учётом коэффициента упрочнения междукамерных целиков закладкой и разгрузки их опорными целиками разработан методика формирования устойчивых геомеханических систем, аналитические методы расчёта запаса прочности. Выявлена закономерность разгрузки междукамерных целиков барьерными, которую подтверждают натурные измерения деформации междукамерных целиков, напряжений и данные моделирования на эквивалентных материалах.

7. На основании данных натуральных измерений разработана методика прогнозирования параметров сдвижения налегающих пород и земной поверхности в зависимости от запаса прочности жёстких, жёсткопластичных и податливых междукамерных целиков.

8. Раскрыт механизм сосредоточенных провалов земной поверхности. Основной причиной их возникновения является проникновение поверхностных вод по контакту со слабыми породами (или по геологическим нарушениям) в горные выработки. Навстречу водотоку происходит развитие карстовой полости за счёт отслоения пород, которое завершается обрушением (провалом) приповерхностной пробки. Внешним импульсом для обрушения могут служить смещения блоков по линиям разлома или техногенные землетрясения. Заполнение выработанного пространства рассолами предупреждает развитие карстов за счёт подпора водотоков, поступающих в камеры. Самый надёжный способ предотвращения сосредоточенных провалов земной поверхности — закладка галитовыми отходами тех камер, в

непосредственной близости от кровли которых (менее 6 м) залегают пласты слабых пород — рассланцованных глин, выходящих непосредственно под водоносный горизонт. Сущность опережающего геомеханического прогноза сосредоточенных провалов составляет изучение геологического строения налегающей толщины пород для выявления расположения очистных камер относительно пластов рассланцованных глин.

9. Установлены геомеханические нормативы отработки целиков специального назначения — околоствольных, водохранинных у геологоразведочных скважин, под магистральными железными дорогами и водными объектами. Охранные целики под магистральными железными дорогами необходимо обрабатывать на безопасной глубине с формированием стандартного варианта геомеханической системы. Оработка запасов других целиков — околоствольных, водозащитных должна производиться на жёсткие геомеханические системы с запасом прочности междукамерных целиков не менее 3 на сейсмически безопасном расстоянии  $r=5,2\sqrt{B}$  до объектов, относящихся к первой категории охраны — ствола шахты, скважины, соляного зеркала. Для отработки залежей под водными объектами, кроме вышеуказанных условий, необходимо оставлять потолочину размером 60 м на Стебниковском и 30 м на Калуш-Голыньском месторождениях как и для охраны галечникового водоносного горизонта, в переходной зоне между открытыми и подземными работами толщина водозащитного целика должна быть не менее 60 м под дном и до бортов карьера.

10. Оработка водоохраных целиков у геологоразведочных скважин возможна после повторного тампонажа скважин в известным искривлением ствола из горных выработок на высоту не менее 30 м, с неизвестной инклинометрией — после повторного тампонажа скважин с поверхности на 30 м ниже почвы водоносного горизонта при дополнительном условии — безводности надсолевой толщи.

11. Охране от повышенных напряжений и деформаций подлежат горные выработки в породах с коэффициентом устойчивости менее 0,5. Для обеспечения длительного эксплуатационного режима таких выработок предложены способы щелевой и скважинной разгрузки, механизм которых состоит в поглощении деформации приконтурного массива пород техногенными полостями, поскольку жёсткая оболочка крепи препятствует смещению пород вовнутрь выработки. Запас податливости на заданный срок службы выработки определяют из нового критериального соотношения — равенства объёмов смещаемых в выработку и поглощаемых техногенными полостями породных масс. Максимальный разгрузочный эффект достигается при охране узла сопряжения ствола с горизонтальной выработкой с помощью кольцевой выработки, продольных и радиально-поперечных скважин. Способ обладает высокой гибкостью за счёт возможности регулирования запаса податливости путём многократного разбуривания скважин и

во восстановления сечения кольцевой выработки. Способ применим для охраны камер большого сечения.

12. Интенсивное освоение подземного пространства на калийных рудниках Прикарпатья возможно как попутный процесс, который должен приносить ощутимый экономический эффект. Основное назначение подземного пространства на современном этапе развития горной технологии — использование в качестве ёмкости для размещения отходов калийного производства. Безусловная эффективность освоения подземного пространства достигается при восходящей отработке запасов, когда одновременно с очистной выемкой и закладкой осуществляется ликвидация рудника.

13. На основе экономико-математического анализа работы калийно-магниевого производства установлено, что основным компонентом по ценности является металлический магний, а окись калия и хлористый натрий являются попутными. Пересчёт попутных компонентов на основной показал, что увеличение содержания магния в руде на 0,5 % позволит обеспечить заданную рентабельность калийно-магниевого производства только за счёт выпуска металлического магния.

14. Основу методики рационального использования недр составляет снижение непроизводительных затрат в зависимости от повышения извлечения ископаемых солей с учётом коэффициента технологичности системы. Экономия от снижения потерь ископаемых солей является составной частью общего экономического эффекта от применения систем разработки с закладкой выработанного пространства, который, кроме того, включает экономию от сохранения ценной полезной площади на поверхности, непроизводительных расходов на обслуживание отвального хозяйства, экономию затрат на снос и последующее воспроизводство охраняемых объектов на поверхности, экономию затрат на ликвидацию рудника за вычетом затрат на обслуживание закладочного комплекса.

Результаты диссертационной работы внедрены на рудниках СтКР-1, СтКР-2, Ка-луш, Ново-Голынь с фактическим экономическим эффектом 1,7 млн. руб., дополнительное извлечение руды за счёт рациональных параметров и отработки целиков специального назначения составляет около 2 млн.т., в перспективе ожидается до 20 млн.т.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

### Монографии.

1. Тарасов Б.Г., Гаркушин П.К., Глоба В.М. Комплексное освоение калийных месторождений Предкарпатья. Львов, Вища школа, 1987, 128 с.

### Обзоры.

2. Сивоконь Е.П., Гаркушин П.К., Снижение потерь при добыче калийных солей системами с твердеющей закладкой. Серия "Развитие калийной промышленности". Вып. 1. Л., ВНИИГ, 1970, 46 с.

### Научно-методические пособия.

3. Гаркушин П.К., Глоба В.М. Проектирование процессов подземной добычи калийных руд Предкарпатья. ИФИНГ. Ивано-Франковск, 1989, 53 с. Деп. в УкрНИИТИ 6.03.89, № 702 Ук-89.

### Статьи.

4. Пермяков Р.С., Шиман М.И., Швецов Г.И., Гаркушин П.К. Вскрытие калийных месторождений скважинами специального назначения. В кн. Вскрытие калийных месторождений. Тр. ВНИИГ, вып. 65. Л., 1973, с. 95-101.

5. Пермяков Р.С., Гаркушин П.К., Исаченко Л.И. Определение физико-механических свойств калийных пород на образцах неправильной формы. Реф. инф. Калийная промышленность. Вып. 5. М., НИИТЭХИМ, 1973, с. 1-7.

6. Гаркушин П.К., Кострубин В.Н. Абразивность калийных колей. Научно-техн. сб. Калийная промышленность. Вып. 5, М., НИИТЭХИМ, 1973, с. 7-9.

7. А.С. № 386 145. Состав для закладки выработанного пространства. Оpubл. в БИ, 1973, №26. / Р.С. Пермяков, П.К. Гаркушин, Г.А. Калачников.

8. Пермяков Р.С., Соломенцев Г.Г., Гаркушин П.К., Исследования физико-механических свойств, процесса деформирования и разрушения соляных пород. В кн. Механика горных пород при разработке месторождений природных солей. Тр. ВНИИГ, вып. 67. Л., 1974, с. 108-119.

9. Пермяков Р.С., Гаркушин П.К. Твердеющая закладка из отходов калийного производства. ФТПРПИ, 1974, №3, с. 141-143.

10. Гаркушин П.К. Использование отходов калийного производства для монолитной закладки. В сб. Использование и складирование отходов обогатительных фабрик. Л., 1974, с. 38-41.

11. Гаркушин П.К. Параметры взрывной отбойки калийных руд Предкарпатья. Научно-техн. сб. Калийная промышленность. Вып. 3, М., НИИТЭХИМ, 1979, с. 33-36.

12. Парфёнов А.П., Гаркушин П.К. Об устойчивости стволов на калийных рудниках Прикарпатья. Шахтное строительство, 1981, №6, с. 6-7.

13. **Гаркушин П.К.** Отработка сближенных калийных залежей. Безопасность труда в промышленности., 1981, №8, с.45-46.
14. **Гаркушин П.К., Шендеров Л.Ф., Воликов В.В.** Общая рассечка блока камерой с траншейным днищем. В кн. Комплексно-механизированная подготовка и отработка шахтных полей калийных рудников. Л., ВНИИГ, 1982, с. 93-104.
15. **Гаркушин П.К.,** Эффективность применения закладки на калийных рудниках Прикарпатья. Горный журнал, 1984, №7, с.29-31.
16. **Гаркушин П.К.** Разработка мощных калийных залежей без междуэтажной потолочины. Разраб. рудных месторождений. Респ.межвед.науч.-техн. сб., 1984, вып.38, с.53-54.
17. **Парфёнов А.П., Гаркушин П.К.** Разгрузка крепи вертикального ствола. Шахтное строительство, 1984, №11, с.19-21.
18. **Гаркушин П.К.** Расчёт комбинированных барьерных полос из рудных целиков и закладки. ФТПРПИ, 1986, №3, с.56-59.
19. **Гаркушин П.К., Завалка И.М., Воликов В.В.** Отработка барьерных целиков в условиях Калуш-Гольинского калийного месторождения. Разработка рудных месторождений. Респ.межвед.науч.техн.сборник. 1986, вып. 42, с.77-81.
20. **Парфёнов А.П., Гаркушин П.К.** Ликвидация расслопопроявлений на калийных рудниках Прикарпатья. Шахтное строительство, 1986, №12, с.21-22.
21. **Гаркушин П.К., Сикора И.С., Тарасова В.П.** Пути интенсификации подземной добычи калийных руд Предкарпатья. Горный журнал, 1987, №7, с.34-35.
22. **Гаркушин П.К., Садовый В.Ф., Глоба В.М.** Выпуск и доставка калийных руд. Безопасность труда в промышленности, 1988, №5, с.17.
23. **Семчук Я.М., Гаркушин П.К., Мосора Т.М..** Методы борьбы с водопитоками на калийных рудниках Прикарпатья. Шахтное строительство, 1989, №4, с.22-25.
24. **Тарасов Б.Г., Глоба В.М., Гаркушин П.К., Парфёнов А.П., Рыженьков А.М.** Геомеханические аспекты устойчивости горных выработок на калийном руднике Пийло. Шахтное строительство, 1989, №8, с.10-13.
25. **Гаркушин П.К., Павлюк П.М., Савчук Я.М.** Безотрезная разработка калийных руд. В кн. Разработка калийных месторождений. Пермь. ППИ, 1989, с.8-11.
26. **Гаркушин П.К.** Экономический механизм рационального использования недр. Комплексное использование минерального сырья. Алма-Ата, 1990, №1, с.88-91.
27. А.С. 1583609. Способ строительства сопряжения выработки с шахтным стволом. Оpubл. в БИ, 1990, №23. / **П.К.Гаркушин, А.П.Парфёнов, Б.Г.Тарасов, В.М.Глоба, А.М.Рыженьков.**
28. **Семчук Я.М., Гаркушин П.К.** Отработка околоствольных целиков на калийных рудниках Прикарпатья. Шахтное строительство, 1990, №12, с.22-23.

29. **Тарасов Б.Г., Глоба В.М., Гаркушин П.К.** Сдвигение горных пород на Калушском калийном руднике. Горный журнал, 1991, №2, с.43-45.

30. **Глоба В.М., Гаркушин П.К., Козий И.В.** Совершенствование отбойки каинито-лангбейнитовых руд на калийных рудниках Прикарпатья. ИФИНГ, Ивано-Франковск, 1991, 12с. Деп. в УкрНИИТИ 2.07.91. №943-Ук91.

31. **Гаркушин П.К., Семчук Я.М.** Технология закладочных работ на калийных рудниках Прикарпатья. Подземное и шахтное строительство, 1991, №12, с.13-17.

32. **Тарасов Б.Г., Глоба В.М., Гаркушин П.К.** Условия разработки калийных месторождений Предкарпатья под водными объектами. ИФИНГ, Ивано-Франковск, 1991, 12с. Деп. в УкрНИИТИ 14.10.91. №1343-Ук91.

33. **Гаркушин П.К., Тарасов Б.Г., Глоба В.М., Парфёнов А.П., Рыженков А.М.** Управление напряженно-деформированным состоянием пород вокруг выработок. ФТПРПИ, 1992, №3, с.15-21.

34. А.С. №1735583. Способ охраны сопряжения вертикального ствола с горизонтальной выработкой. Оpubл. в БИ, 1992, №19. / **П.К.Гаркушин, А.П.Парфёнов, Б.Г.Тарасов, В.М.Глоба, А.М.Рыженков.**

35. А.С. 1783117. Способ строительства сопряжения выработки с шахтным стволом. Оpubл. в БИ, 1992, №47. / **П.К.Гаркушин, А.П.Парфёнов, Б.Г.Тарасов, В.М.Глоба, А.М.Рыженков.**

36. **Тарасов Б.Г., Глоба В.М., Гаркушин П.К.** Калуському калієвому руднику Ново-Голинь 25 років. Розвідка та розробка нафтових та газових родовищ. Вип. 30. Івано-Франківськ, 1993, с.3-8.

37. **Гаркушин П.К.** Способ разгрузки контура вертикальной выработки. Патент Украины №5410. Оpubл. в БИ Промислова власність, 1994, №7-1.

38. **Гаркушин П.К.** Опыт отработки околоскважинного целика на калийном руднике Ново-Гольинь. Инф. Листок №94-49. Серия 53. Горное дело, УкрНТИ, Ивано-Франковский ЦНТЭИ, 1995.

39. **Гаркушин П.К.** Опыт отработки околоствольного целика на калийном руднике Ново-Гольинь. Инф. Листок №94-50. Серия 53. Горное дело, УкрНТИ, Ивано-Франковский ЦНТЭИ, 1995.

40. **Гаркушин П.К.** Отработка калийных залежей под магистральными железными дорогами. Уголь Украины, 1995, №3, с.40-41.

41. **Гаркушин П.К.** Проблеми і перспективи підземного видобутку каїніто-лангбейнітових руд. Хімічна промисловість України, 1995, №12, с.12-18.

42. **Гаркушин П.К.** Про можливість переробки руд Стебницького родовища на заводі калійних добрив концерну "Оріана". Хімічна промисловість України, 1995, №2, с.18-19.

43. **Гаркушин П.К.** Управление технологией добычи руд Калуш-Голынского калийного месторождения. Горный журнал, 1995, №4, с.25-29.

44. **Гаркушин П.К.** Ценность каинито-лангбейнитовых руд. Металлургическая и горнорудная промышленность, 1995, №3, с.46-47.

45. **Гаркушин П.К.** Обоснование высоты яруса для отвалов Домбровского карьера. Уголь Украины, 1995, №8, с.16-19.

46. **Гаркушин П.К.** Влияние закладки на устойчивость междукамерных целиков. Уголь Украины, 1995, №12, с.25-26.

47. **Гаркушин П.К.** Расчёт параметров сдвижения земной поверхности при разработке калийных месторождений по камерно-столбовой системе. Горный журнал, 1995, №12, с.26-28.

48. **Глоба В.М., Гаркушин П.К.** Стійкість підземних сховищ. Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія. Спорудження, транспорт і зберігання нафти і газу. Вип. 31, 1994, с.

49. **Гаркушин П.К.** Критерии устойчивости горных выработок. Уголь Украины, 1996, №10-11, с. 34-36

## Annotation

Garkushin P.K. Complex development of potassium resources of Prykarpathian region. Thesis on accessing for doctor's degree on technical sciences for speciality 05.15.02. - underground exploitation of mineral resources. Concern ORIANA, Kalush, 1996.

66 scientific works are submitted for defence of a thesis, including monograph, 2 reviews, 5 author's certificates and one patent of the Ukraine.

On the basis of theoretical, natural and experimental researches, the system (methodology) of complex development of potassium resources of Prykarpathian region was created that ensures highly-efficient exploitation, providing minimal losses of mineral resources under condition, when load thickness of mineral resources and ground surface is effectively supported. Base of the system is formed by the correlated solution of issues, concerning mining-technological, geomechanical and economical process operation environment protection, usage of full filling of the goaf with enrichment waste of kainite-langbeinite ores and securing of longterm operation routine of mining output with the help of aperture and well unloading of byoutline rock massifs.

## Анотація

Гаркушин П.К. Комплексное освоение калийных месторождений Предкарпатья. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.02. - подземная разработка полезных ископаемых. Калушский концерн "Ориана", г. Калуш, 1996.

На защиту представлены 66 научных работ, в том числе монография, два обзора, 5 авторских свидетельств и один патент Украины. На основе теоретических, натуральных и экспериментальных исследований создана система (методология) комплексного освоения калийных месторождений Предкарпатья, обеспечивающая высокую эффективность разработки с минимальными потерями полезного ископаемого при надежном поддержании налегающей толщи пород и земной поверхности. Основу системы составляет взаимосвязанное решение вопросов управления горно-технологическими, геомеханическими и экономическими процессами, охраны окружающей среды и применения закладки выработанного пространства отходами обогащения калийно-лангбейнитовых руд, сохранения длительного эксплуатационного режима горных выработок с помощью щелевой и скважинной разгрузки приконтурных породных массивов.

Ключові слова: калійний рудник, висхідний спосіб, система, кайніто-лангбейнітова руда, камера, цілик, свердловина, закладка, відходи збагачення, стійкість, скупчений провал, розвантаження, економічний механізм.

Соискатель

*Garkushin*







Ab 30. 25

1119 1118

АВ 36.954

Издательство "Минерал"  
Академии горных наук Украины.  
324002. Кривой Рог, ул. Пушкина 44.  
Тел. 26 -07 -35, 26 -27 -29  
Формат А5. Тираж 100 экз.