

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.А. ПУЧКОВ

Зам. председателя

Л.Х. ГИГИС

Члены редсовета

И.В. ДЕМЕНТЬЕВ

А.П. ДМИТРИЕВ

Б.А. КАРТОЗИЯ

А.В. КОРЧАК

М.В. КУРЛЕНЯ

В.И. ОСИПОВ

В.Л. ПЕТРОВ

Э.М. СОКОЛОВ

К.Н. ТРУБЕЦКОЙ

В.А. ЧАНТУРИЯ

Е.И. ШЕМЯКИН

*президент МГТУ,
чл.-корр. РАН*

*директор
Издательства МГТУ*

академик РАЕН

академик РАЕН

академик РАЕН

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

академик МАН ВШ

академик МАН ВШ

академик РАН

академик РАН

академик РАН

*В.Ж. Аренс
Н.И. Бабичев
А.Д. Башкатов
О.М. Гридин
А.С. Хрулев
Г.Х. Хчеян*

СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

*Допущено Учебно-методическим
объединением вузов Российской Федерации
по образованию в области горного дела
в качестве учебного пособия для студентов
вузов, обучающихся по специальности
«Подземная разработка месторождений
полезных ископаемых» направления
подготовки «Горное дело»*

**Горное
образование**



МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»
2007

УДК 622.227:622.232.5

ББК 33.24

А 80

Книга соответствует «Гигиеническим требованиям к изданиям книжным для взрослых. СанПиН 1.2.1253-03», утвержденным Главным государственным санитарным врачом России 30 марта 2003 г.

Экспертиза проведена Учебно-методическим объединением высших учебных заведений РФ по образованию в области горного дела (письмо № 51-156/6 от 28.12.2006)

Рецензенты:

- зав. кафедрой «Безопасность производств и разрушение горных пород» д-р техн. наук, проф. *Ю.В. Шувалов* [Санкт-Петербургский государственный горный институт (Технический университет)];
- д-р техн. наук *Н.Н. Дербунович* (ФГУП ГИГХС)
- д-р техн. наук, проф. *В.В. Мельник* (Московский государственный горный университет)

Аренс В.Ж., Бабичев Н.И., Башкатов А.Д., Гридин О.М., Хрулев А.С., Хчян Г.Х.

А 80 Скважинная гидродобыча полезных ископаемых: Учеб. пособие. — М.: Издательство «Горная книга», 2007. — 295 с.: ил. ISBN 978-5-98672-060-9 (в пер.)

Описано состояние проблемы разработки месторождений полезных ископаемых через скважины с использованием гидравлических технологий. Рассмотрены научно-технические, геологические, экономические аспекты скважинной гидродобычи. Освещен имеющийся опыт использования новой технологии.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых» направления подготовки «Горное дело», может быть полезно студентам и аспирантам.

УДК 622.227:622.232.5

ББК 33.24

ISBN 978-5-98672-060-9

- © В.Ж. Аренс, Н.И. Бабичев, А.Д. Башкатов, О.М. Гридин, А.С. Хрулев, Г.Х. Хчян, 2007
- © Издательство «Горная книга», 2007
- © Дизайн книги. Издательство МГУ, 2007

ПРЕДИСЛОВИЕ

Нас шесть авторов. Естественно, что каждый шел к написанию этого пособия для студентов и аспирантов своим путем, работая в НИИ, преподавая в ВУЗе, занимаясь бизнесом. Изложенные в книге идеи и знания формировались у нас на протяжении многих лет.

Мы считаем, что авторы в равной степени ответственны за каждое слово в этой работе, так как писалась она совместно. Каждый делал набросок порученного ему раздела книги и передавал его другим авторам, которые что-то добавляли, сокращали или изменяли. Поэтому текст книги неоднократно переписывался, и каждый может утверждать, что именно он автор того или иного раздела.

Почему мы взяли за эту книгу? Много лет ведутся работы по скважинной гидродобыче (СГД), но широкого промышленного внедрения новая технология до сих пор не получила. В то же время повышение производительности труда в горной промышленности возможно только на базе создания принципиально новых технологий добычи полезных ископаемых, основанных на комплексной механизации и автоматизации всех трудоемких работ, обеспечивающих кардинальное решение проблемы безопасности горных работ. Это может быть достигнуто на базе научных исследований по преобразованию многооперационных процессов в малооперационные с автономным автоматическим управлением и с выводом людей на поверхность. Поэтому применение гидротехнологий перспективно.

Понятие «гидравлический метод добычи» объединяет комплекс работ, производимых с использованием воды для отбойки, доставки, подъема и обогащения полезного ископаемого. В настоящее время он используется на открытых и подземных горных работах и при производстве земляных работ (при строительстве плотин и каналов).

Целью настоящей работы является обобщение накопленного опыта СГД и знаний в смежных областях гидромеханики, чтобы студенты, аспиранты и инженеры могли их использовать при решении вопросов разработки конкретных месторождений полезных ископаемых. Книга дает представление о СГД как о системе и позволяет всесторонне представить проблемы технологии и решать их на практике.

С незапамятных времен в горном деле вода использовалась для выполнения отдельных операций. Само горное дело возникло в примитивной форме как собирание самородных металлов по руслам рек, то есть там, где вода уже потрудились, выломав и частично обработав полезные ископаемые. Известно, что еще задолго до нашей эры в Ассирии золото добывалось по течению реки Тигр. Римляне добывали серебро и золото в Испании по долинам рек Тахо и Дурро. Затем воду начали применять при обогащении (промывке золотоносных песков). В средние века воду начинают использовать для транспортировки полезных ископаемых, о чем пишет Агрикола (Георгий Бауэр) в энциклопедии горного дела и металлургии.

В начале XXIII века М. Карпинский, а затем М.А. Шестак, К.А. Кулибин, И.М. Тиме описывают в Горном журнале использование гидромонитора («носовка», «водобой», «брызгало») как главное орудие гидравлических разработок золотоносных россыпей. В конце века для этого, наряду с гидромонитором, уже использовали гидроэлеватор.

Основы теории гидравлического способа разработки залежи разработал П.П. Мельников, дав методы расчета насадок, ударной силы струи, высоты фонтанов и др. Работы П.П. Мельникова, К.А. Кулибина, И.М. Тиме, В. Реутовского, М.А. Шостака и других создали инженерные основы гидромеханизации.

В XX веке Р.Э. Классен применял гидравлический способ для добычи торфа. Профессор Н.Д. Холин использовал метод гидромеханизации при строительстве канала им. Москвы. Профессор Г.А. Нурок впервые в мировой практике применил гидромеханизацию в Кузбассе при температуре $-30-40^{\circ}\text{C}$. Профессор В.С. Мучник (автор подземной гидродобычи угля) создал гидравлический комплекс, включавший в себя технологии отбойки, транспорта, подъема и обогащения угля.

Нефтяники при разработке залежей в конце XIX века использовали эрлифт. Его эффективно применяли в Донбассе для подъема угля и пород с глубины до 1000 м. В горно-рудной промышленности гидроподъем использовали для подъема руд (объемный вес $3,5\text{ т/м}^3$) с глубины 396 м на руднике «Белкина-Вентиляционная» в Лениногорске. По данным Н. И Казакова производительность установки 60 т/ч. На рудниках Приморья при зачистке камер для сокращения потерь ценных руд использовали гидромониторную струю. На зарубежных рудниках Германии, Канады, США осуществляли гидродобычу песчаников, гильсонита, руды.

Все это натолкнуло исследователей разных стран на мысль использовать гидротехнологию для добычи полезных ископаемых через скважины.

У СГД большое будущее и цель нашей книги — помочь будущим и действующим специалистам в исследованиях этого метода, расчете его параметров в различных условиях и использовании на практике.

Сегодня стремление к эффективным методам разработки полезных ископаемых особенно актуально, будь то нефть, уголь, цветные и черные металлы или золото. Само собой разумеется, что прорыв к глобальной замене всех методов разработки на СГД не стоит на повестке дня, но разработку новых геотехнологических методов не следует недооценивать. И то влияние, которое они могут оказать на мышление специалистов горняков и на горное производство огромно.

Мы на доступном языке дали основные понятия СГД, привели многочисленные примеры того, что уже сделано, а так же методики расчетов параметров технологических процессов скважинной гидродобычи.

Книга написана в период, когда научные исследования по многим революционным процессам разработки полезных ископаемых практически прекращены. Но, без сомнения, сегодня горной промышленности нужны новые технологии, которые обеспечат экологичную, экономную и безопасную разработку месторождений полезных ископаемых в будущем.

В. Аренс

Р. С.: В приложении помещены: Список авторских свидетельств по СГД, и статьи по оборудованию СГД.

1. ПРОБЛЕМЫ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

1.1. Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых. Основные понятия и представления

Скважинная гидродобыча (СГД) является одной из физико-химических технологий, в которой гидравлическая энергия, подводимая через скважины, используется для разрушения горных пород в призабойной зоне, приготовления пульпы и для выдачи (в ряде случаев с воздухом) разрушенного материала на поверхность.

СГД используется для добычи полезных ископаемых, а также для строительства и обустройства подземных выработок.

Общая технологическая схема СГД представлена на рис.1.1. Эксплуатационные скважины бурятся до почвы продуктивного пласта. В скважине монтируется гидродобычный снаряд, который присоединяется к трубопроводам воды и воздуха (для эрлифта). Вода, взятая из поверхностного водоема, насосом подается в скважинный гидродобычный снаряд для размыва продуктивного пласта. Образующуюся гидросмесь поднимают на поверхность, где она самотеком или с помощью землесосной установки подается на обогащение. Вода после осветления возвращается в водоем.

Отличительной особенностью скважинного оборудования является жесткое требование к поперечным размерам, обусловленное необходимостью его работы в скважине. Гидродобычный агрегат представляет собой совокупность скважинного гидромонитора и выдачного механизма с подъемно-транспортной частью и установкой для транспортирования пульпы от агрегата.

Добычным полигоном является часть месторождения, подготовленная для эксплуатации, т.е. участок, обустроенный добычными скважинами и имеющий подъездные дороги и коммуникации для снабжения добычных агрегатов водой, воздухом, электроэнергией, а также трубопроводом для транспортирования гидросмеси.

Управление процессом добычи осуществляется с поверхности путем изменения расхода и давления рабочих агентов, а также мест воздействия рабочего агента и отбора полезного ископаемого. По мере обработки участков месторождения производится их рекультивация, которая заключается в ликвидации добычных скважин, планировке поверхности и восстановлении культурного слоя.

Скважинная гидродобыча появилась как альтернатива традиционному открытому и подземному способу разработки месторождений полезных ископаемых и использует известные ранее элементы традиционных технологий, такие как бурение скважин, гидродразрушение, самотечный и напорный гидротранспорт, управление горным давлением, средства и способы контроля и управления. При этом в связи со специфическими особенностями скважинной гидродобычи возникает новое качество — дистанционность выемки твердого полезного ископаемого, исключающая присутствие человека на месте горных работ, обеспечивая, тем самым, высокий уровень безопасности и комфортности труда.

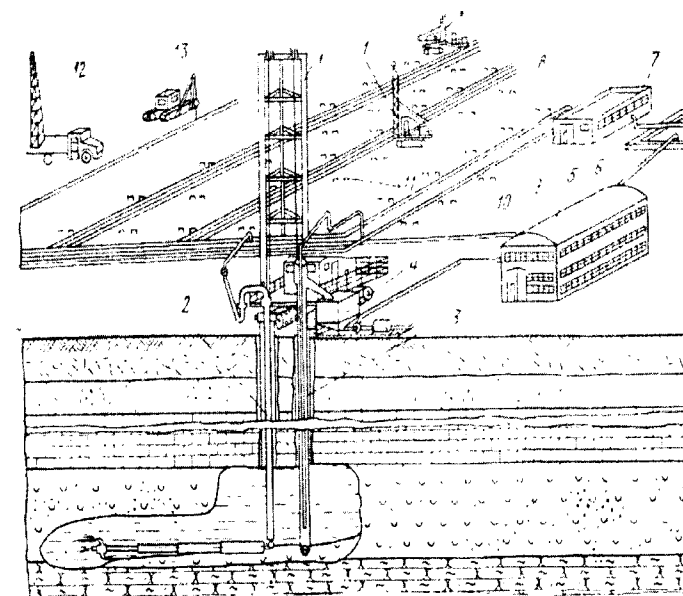


Рис. 1.1. Технологическая схема скважинной гидродобычи полезных ископаемых: 1 — гидродобычный агрегат; 2 — скважинный гидромонитор; 3 — пульпоподъемный механизм; 4 — землесос; 5 — обогатительная фабрика; 6 — водоприемный бассейн; 7 — насосная; 8 — водопроводы; 9 — компрессорная; 10 — воздухопроводы; 11 — добычные скважины; 12 — буровые станки; 13 — трубоукладчики

Другими преимуществами СГД являются: более низкие по сравнению с другими способами добычи капитальные вложения при отработке глубокозалегающих пластов, их быстрая окупаемость, возможность применения мобильного и автономного скважинного гидродобычного комплекса, использование серийного технологического оборудования (буровые станки, насосы, компрессоры).

Сырьевой базой для СГД являются месторождения, представленные легко разрушаемыми породами. К ним относятся осадочные месторождения строительных и стекольных песков, золота, алмазов, олова, титана, фосфоритов, урана, мягкие бокситовые и марганцевые руды, зоны выветривания железистых кварцитов, месторождения угля и битуминозных песчаников и т.п.

Термин скважинная отличает технологию СГД от известной гидродобычи на подземных (например, подземная гидродобыча угля) и на открытых горных работах, традиционно предусматривающих визуальный контроль и управление разрушающим оборудованием на месте очистных работ.

Основным процессом в технологии очистных работ при скважинной гидродобыче является разрушение руды в камерах. Параметры этого процесса для конкретных горно-геологических условий определяют не только эффективность способа, но и его техническую возможность.

Из всех способов разрушения горных пород и руд для образования гидросмеси наибольшее применение в горном деле нашло разрушение напорными гидромониторными струями, иногда в сочетании с другими способами (взрывным и механическим).

Специфическими особенностями скважинной гидродобычи являются: ограниченность рабочих пространств и конструктивных размеров оборудования (разработка ведется через скважины диаметром до 500 мм); отсутствие возможности визуального контроля и управления работой струи в забое; постоянное увеличение расстояния от насадки до забоя в процессе выемки руды в очистных камерах.

Все это требует проведения предварительных специальных исследований, направленных на разработку и совершенствование конструкции скважинных гидромониторов, и установление закономерностей изменения динамических характеристик сформированных в них струй, а также параметров гидроразрушения для конкретных горно-геологических условий.

В зависимости от места бурения вскрывающих скважин способ подразделяется на два варианта: собственно СГД, при котором бурение скважин производится с земной поверхности, и комбинирован-

ный способ, когда скважины бурятся из подземных или открытых горных выработок. Примерами комбинированного способа может служить добыча золотосодержащих песков через скважины, пробуренные из подземных горных выработок, пройденных ниже продуктивного пласта на шахте в Иркутской области и отработка целиков содержащих песков в отработанный полигон (Магаданская область).

Технология и оборудование СГД могут применяться не только по прямому назначению — для добычи полезных ископаемых и строительства подземных выработок, но и в других областях горного производства:

- при крупнообъемном геологическом опробовании (для повышения степени надежности геологоразведочных данных, особенно на крупных глубокозалегающих месторождениях полезных ископаемых);
- для расширения коллекторной части водозаборных, нефтяных и газовых скважин, что в несколько раз увеличивает их дебит и продлевает срок эксплуатации;
- для очистки фильтра и затрубного пространства скважин;
- для создания активной поверхности растворения при подземном растворении соли с целью быстрого получения кондиционных рассолов, путем гидромониторного размыва, особенно незатопленными струями;
- для создания вертикальных щелей в продуктивном пласте при подземном выщелачивании, что позволяет увеличивать производительность процесса и извлечение полезного компонента, благодаря созданию равномерного фронта движения растворителя;
- для удаления осадка нерастворимых включений из строящегося подземного резервуара, что снижает затраты на строительство подземных хранилищ в каменной соли.

1.2. Технологические процессы при скважинной гидродобыче

Параметры технологии разработки месторождения методом СГД определяются, прежде всего, физико-геологической обстановкой залегания и свойствами рудного тела и вмещающих пород.

В табл. 1.1 рассмотрены технологические операции СГД и задачи их осуществления, а в табл. 1.2 приведены факторы, определяющие основные параметры технологии.

Таблица 1.1

Технологические операции СГД и задачи, решаемые ими

Операция	Решаемые задачи
Эксплуатационная разведка	Уточнение физико-геологической обстановки; получение полной характеристики рудного тела и вмещающих пород; геометризация рудного тела; уточнение запасов; выделение разностей руд; определение гидрогеологических параметров скважин и пласта
Вскрытие	Расчистка и планирование обрабатываемого участка месторождения; бурение и оборудование добычных скважин для обеспечения доступа добычного устройства к рудному телу; детализация строения и состава рудного тела
Подготовительные работы	Проходка дренажных выработок; прокладка подъездных дорог, сетей электроснабжения, участковых трубопроводов для подачи напорной воды, сжатого воздуха и других рабочих агентов, устройство участковых землесосов и прокладка пульповода для гидротранспортирования руды на склад или обогатительную фабрику
Производство рабочих агентов	Обеспечение добычного участка напорной водой и сжатым воздухом
Очистная выемка	Разрушение рудного пласта для перевода его в подвижное состояние; управление процессом формообразования камеры; приведение руды во взвешенное состояние и доставка ее к выдачному механизму; выдача руды на поверхность; согласование подъема с работами по разрушению и доставке
Управление горным давлением	Контроль и управление сдвижением горных пород и поверхности для обеспечения безопасности ведения горных работ и полноты извлечения полезного ископаемого
Транспорт	Гидротранспортирование руды от добычных агрегатов на склад или обогатительную фабрику; усреднение и частичное (попутное) обогащение
Складирование	Размещение руды в хранилищах и на карте намыва. Усреднение руды
Рекультивация	Вовлечение отторженных горными работами земель в использование. Восстановление ценности поверхности земли. (Ликвидация добычных скважин; закладка камер; планировка поверхности и ее подготовка для сельского хозяйства или промышленного строительства)

Таблица 1.2

Факторы, определяющие основные параметры технологических операций

Технологическая операция и оценочные показатели	Способ осуществления	Факторы	
		физико-геологические	технические и технологические
Разрушение. Производительность гидромонитора по руде. Удельный расход воды. Максимальный, эффективный радиус разрушения, оптимальное давление воды	Струей воды, фильтрационное, взрывное	Прочность руды, устойчивость кровли, пористость, проницаемость, вязкость, размокаемость, пластичность, литологический и гранулометрический состав и другие физико-механические характеристики руды, мощность пласта	Порядок отработки камеры: попутный, встречный забой, размер заходки, технология выемки и т.д.). Скорость отмыва заходки. Давление и расход воды
Доставка Производительность и дальность транспортирования руды. Удельный расход воды.	Самотечная, смыв струей воды	Гранулометрический состав, плотность, форма частиц, угол наклона подошвы забоя	Порядок отработки камеры. Длина доставки. Давление и расход воды, плотность пульпы, уклон, расстояние транспортировки
Подъем. Производительность по руде. Удельный расход и давление воздуха и воды	Эрлифтный, гидроэлеваторный, комбинированный, противодавлением	Те же и абразивность, уровень подземных вод	Высота подъема, диаметр труб. Давление и расход воздуха и воды, гидростатическое давление в скважине Конструкция подъемного устройства
Гидротранспорт. Производительность по руде, гидросмеси. Потери напора, оптимальный диаметр труб	Самотечный, трубопроводный	Гранулометрический состав, плотность, форма частиц	Расход, уклон. Размеры лотка, потока и его характеристики Расход, скорость потока, плотность пульпы. Диаметр и характеристика трубопровода, расстояние транспортирования

Технологическая операция и оценочные показатели	Способ осуществления	Факторы	
		физико-геологические	технические и технологические
Укладка руды на карте намыва Скорость водоотдачи	Гидравлическая	Гранулометрический состав, плотность, водоотдача, рельеф местности	Способ заполнения карты, способ удаления воды из отвала. Высота обваловки. Расход и плотность пульпы
Управление горным давлением	Оставлением целиков, закладкой	Физико-механические свойства руды и кровли, плотность закладочного материала	Система разработки. Размер камер и целиков, технология и полнота закладки

Добыча полезных ископаемых с использованием СГД создает такие преимущества перед обычными способами добычи, которые позволяют по-новому оценить как известные месторождения, так и вновь открываемые, обеспечивая получение технологического, экономического и экологического эффектов.

Технологический эффект. Главными факторами, обеспечивающими высокую эффективность СГД, являются малооперационность и поточность основного процесса добычи, что обеспечивает возможность ее полной механизации и автоматизации. СГД обеспечивает исключение большинства недобычных операций по вскрытию (буровзрывные работы, экскавацию и транспортирование вскрышных пород). Обводненность месторождений и даже полное затопление добычной камеры существенно не затрудняют ведение технологического процесса добычи. Специфическое оборудование СГД — скважинный гидромонитор и выдачное устройство (эрлифт, гидроэлеватор, гидроэрлифт) — просто в изготовлении. СГД в ряде случаев позволяет осуществлять технологию избирательного извлечения руды из недр. Использование гидрозакладки позволит существенно снизить объем хвостохранилищ и разместить отходы обогащения в отработанных подземных камерах. Гидравлический размыв, доставка, подъем и транспортирование руды позволяют осуществить попутное обогащение (облагораживание) непосредственно у добычной скважины. Создание передвижных насосных, компрессорных, а также самоход-

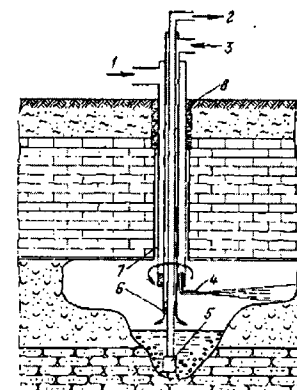
ных гидродобычных агрегатов позволяет быстро организовать добычу на небольших месторождениях, разработка которых традиционными способами нерентабельна. Заболоченность поверхности или даже залегание месторождения под водоемом не являются препятствием для его эксплуатации, т.к. добычные агрегаты могут быть смонтированы на шасси в болотном исполнении, или на понтоне, барже.

Экономический эффект. Простота основного оборудования предопределяет небольшие капитальные вложения. Дорогостоящие вскрышные работы заменяются бурением добычных скважин. Поэтому значительно уменьшаются сроки освоения и окупаемости капитальных вложений, т.к. рудник может вводиться в эксплуатацию очередями по мере готовности. С увеличением глубины разработки затраты на разработку месторождения возрастают сравнительно незначительно. Попутное обогащение в процессе гидродобычи и гидротранспорта сокращает расходы на переработку руды и улучшает качество концентрата.

Экологический эффект. При скважинной гидродобыче создаются благоприятные возможности по обеспечению охраны природы и безопасности горных работ, т.к. исключается присутствие человека под землей. Отсутствие вскрышных работ в традиционном смысле позволяет в значительной степени сохранить в целости культурный слой почвы, а при разработке месторождения в затопленной камере — режим поверхностных и подземных вод. Затраты на рекультивацию поверхности месторождения после СГД сравнительно невелики, так как она сводится, в основном, к ликвидации разведочных и добычных скважин, а так же последствий от производственной деятельности.

Отсутствие взрывных и погрузочных работ и автомобильной откатки исключают запыленность и загазованность атмосферы и полностью снимают вопрос вентиляции, как это имеет место при разработке месторождения глубокими карьерами или шахтами. В результате обеспечиваются комфортные условия труда.

Рис. 1.2. Устройство для подземной разработки полезных ископаемых гидравлическим способом: 1 — технологическая вода; 2 — гидросмесь руды; 3 — сжатый воздух; 4 — короткий ствол с насадкой; 5 — всас; 6 — клапан для выпуска сжатого воздуха; 7 — добычная скважина; 8 — затрубная цементация скважины



Гидравлическая закладка отходами обогащения отработанных камер существенно уменьшает объем хвостохранилищ, являющихся источником запыленности и загазованности окружающей среды: почвы, воздуха и воды.

Технология СГД совместно с гидротранспортом позволяет применить обратную систему водоснабжения, которая сводит к минимуму загрязнение подземных и поверхностных источников воды и существенно уменьшает расход свежей воды.

1.3. Варианты реализации метода СГД

Существует множество предложений по осуществлению метода. Главное их различие заключается в способах разрушения и доставки, а также в разнообразных конструкциях скважинного оборудования, предназначенного для различных горно-геологических условий применения.

При разработке месторождений рыхлых руд процесс принудительного их разрушения практически отсутствует и поэтому конструкция оборудования и сама технология добычи довольно просты.

Б. Кенптон (США) предложил разрабатывать погребенные месторождения рыхлой фосфоритной руды, залегающие под водой, откачкой плунжерными насосами через подъемную трубу, в которой руда будет разжижаться водой для облегчения подачи наверх. Буровое и добычное оборудование устанавливается на отдельных баржах.

По мере отработки пласта, покрывающие породы плавно опускаются, а поскольку все добычное оборудование установлено на барже, то это опускание не нарушает положение оборудования. Однако абразивные свойства песка со временем будут ухудшать работу плунжерного насоса, поэтому Адамсом (США) предложено рыхлую руду всасывать через отверстие в подъемной трубе, создавая в ней вакуум эжекторным насосом.

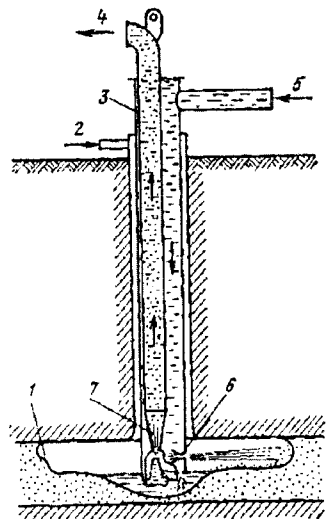


Рис. 1.3. Устройство для скважинной гидродобычи: 1 — добычная камера; 2 — сжатый воздух; 3 — гидромониторный вертикальный став; 4 — гидросмесь; 5 — вода; 6 — разрушающая насадка; 7 — гидроэлеватор

Разработка месторождений связных руд должна сопровождаться разрушением массива горных пород, слагающих рудный пласт. Так, в 1936 г. П.М. Тупицыным было предложено добывать полезные ископаемые через скважины посредством гидромониторного разрушения пород и откачки гидросмеси на поверхность. Для равномерной разработки пласта во всех направлениях насадка может свободно вращаться вокруг вертикального става гидромонитора (рис. 1.2).

Под действием реактивной силы струи насадка вращается, производя круговое разрушение пласта. Выдача разрушенной руды производится закачкой сжатого воздуха в загерметизированную камеру и созданием в ней избыточного гидростатического давления, достаточного для выдачи руды на поверхность в виде гидросмеси.

В дальнейшем были предложены улучшенные конструкции оборудования, позволяющие разрабатывать более крепкие руды. К. Астон (США) предложил использовать струю воды не только для разрушения руды, но и для проходки добычной скважины (рис. 1.3). При достижении рудного пласта производится круговое разрушение руды в камере путем вращения вертикального става с насадкой. Для выдачи руды на поверхность применяется гидроэлеватор. Для обеспечения разрушения руды струей в сухом забое в загерметизированную камеру подается сжатый воздух, который отжимает воду в выдачную трубу и осушает камеру.

И. Чонгом (США) создано оборудование для СГД угля с глубины не менее 30 м, состоящее из гидромонитора с двумя диаметрально расположенными насадками и гидроэлеватора, которые опускаются в скважину диаметром 400 мм. Вода к гидромонитору подается под давлением 3,2 МПа с расходом 0,0063 м³/с. На гидроэлеватор подается вода под давлением 0,5 МПа с расходом 0,0164 м³/с. Дробление крупнокускового угля осуществляется буровой коронкой в зумпфе. Для обеспечения кругового размыва гидромонитор вращается со скоростью 0,25—10 об/мин.

По другой схеме отработки угля методом СГД В. Паундсон, В. Миллер (США) две соосно расположенные трубы опускаются до пласта по скважине диаметром 213—274 мм. По одной из них подается магнетитовая суспензия под давлением для струйного разрушения угля и вращения добычной головки. По наружной трубе выдается смесь угля на поверхность. Здесь из смеси в сепараторе отделяется уголь, а суспензия обратно идет в процесс.

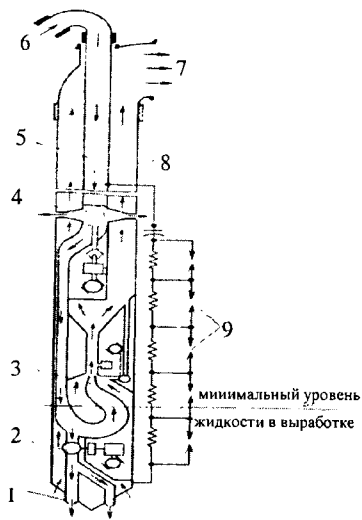


Рис. 1.4. Устройство для скважинной гидродобычи:

1 — проходческие насадки; 2 — клапан; 3 — насадка гидроэлеватора; 4 — размывающие насадки; 5 — гидромониторный ствол; 6 — напорная вода; 7 — гидросмесь; 8 — выдачный ствол труб; 9 — датчики уровня

Один из первых добычных агрегатов, изготовленных в США, был предназначен для разработки рудных пластов, практически, на любой глубине, а также для образования подземных емкостей и расширения скважин (рис. 1.4). Устройство представляло собой заключенные в одной трубе гидромонитор и гидроэлеватор. Гидромонитор имел горизонтальные насадки для разрушения руды и вертикальные, расположенные в нижнем конце вертикального водовода, для размыва пород при опускании устройства до подошвы пласта. При проходке скважины по более крепким породам предусмотрена замена вертикальных насадок шарошечным долотом.

Применен гидроэлеватор центрального типа и предусмотрена возможность автоматического регулирования его производительности. Для этого на нижнем конце располагают датчики уровня воды в камере на пять позиций. По мере повышения уровня воды датчики дают сигнал на ступенчатое уменьшение подачи воды к насадкам гидромонитора и увеличение подачи ее на гидроэлеватор. Это приводит к уменьшению производительности разрушения и увеличению производительности выдачи руды на поверхность.

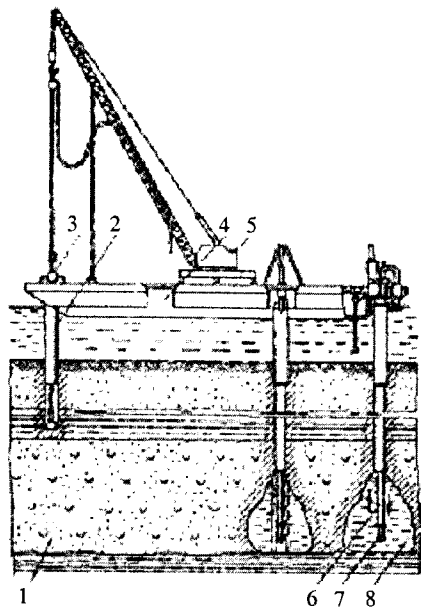


Рис. 1.5. Добыча руды с баржи через скважину из затопленной камеры:

1 — рудный пласт; 2 — скважина; 3 — буровой станок; 4 — баржа; 5 — кран; 6 — гидроэлеватор; 7 — эрлифт; 8 — добычная камера

Технология добычи с применением указанного устройства заключается в образовании предварительной камеры в породах почвы с использованием перебура скважины. Угол наклона почвы камеры образуется с учетом возможности самотечного смыва разрушенной руды к гидроэлеватору. Далее слоями снизу вверх отрабатывается рудный пласт.

Форма камеры создается соответствующим поворотом горизонтальных насадок гидромонитора в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Фирма «Маркона» серийно выпускала унифицированные узлы для гидромеханической добычи полезных ископаемых, в том числе для скважинной гидродобычи. Скважинная часть оборудования состояла из гидромонитора, пульповыдачного устройства (обычно гидроэлеватора), всасывающего патрубка, снабженного решеткой и смывной насадкой, устройств в виде буровой насадки или коронки для дробления крупных кусков руды непосредственно в зумпфе. Оборудование, находящееся на поверхности, состояло из передвижной платформы с буровыми установками, насосом, сепаратором и подъемным механизмом для монтажа оборудования и спуска его в скважину. Оборудование предназначено для гидродобычи урана, карналлита, нефти, битуминозных песков, угля и других полезных ископаемых, которые не могут разрабатываться открытым или подземным способом. Оборудование также может быть применено при создании подземных емкостей в соляных или иных залежах путем расширения буровых скважин до заданного диаметра.

Однако часто осадочные месторождения обводнены или залегают под водоемом. В этих случаях принимаются специальные меры по обеспечению воздействия водяной струи на забой в воз-

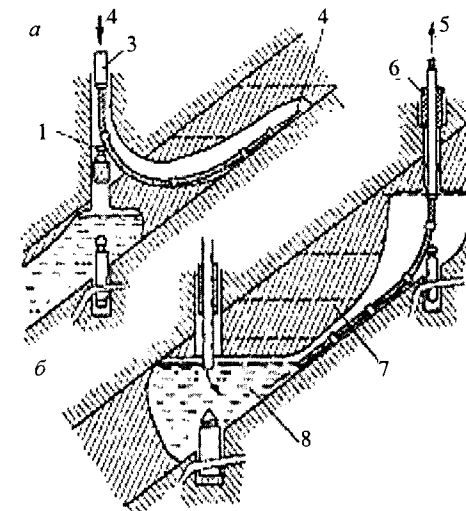


Рис. 1.6. Гидромонитор с гибким наконечником:

a — стадии подрезки пласта; б — стадии выемки руды; 1 — направляющий аппарат; 2 — вода; 3 — направляющая труба; 4 — гибкий наконечник с насадкой; 5 — гидросмесь; 6 — пакер; 7 — добычной забой; 8 — зумпф

душной среде, так как в этом случае дальность разрушения увеличивается в десятки раз. Это достигается подачей сжатого воздуха в загерметизированную камеру для отжатия воды из нее до уровня ниже насадок. В случае еще большего водопритока эта система дополняется эрлифтом. Для улучшения условий всасывания одну из насадок гидромонитора направляют вертикально вверх в сторону всаса, образуя по существу гидроэлеватор. Уровень воды в камере контролируется с помощью специальной трубки малого диаметра. Круговое разрушение камеры достигается применением головки с двумя насадками, образующими сегнерово колесо, которое вращается под действием реактивной силы струи. Однако не на всех месторождениях технически возможна герметизация пласта. Поэтому О. Хаммером (США) предлагалось добычу фосфоритной руды из-под водоема производить в затопленной водой камере (рис. 1.5), а бурение добычных скважин и добычу вести с отдельных барж. Скважина изолируется от поверхностного водоема. Добычное оборудование представляло собой гидромонитор с эрлифтом. Для увеличения эф-

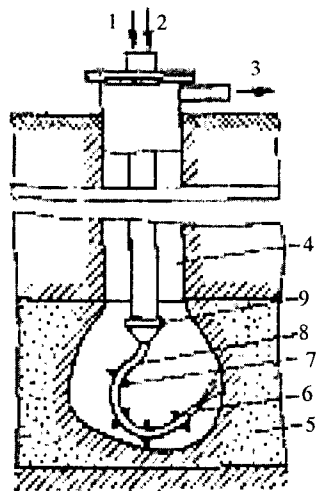


Рис. 1.7. Гидромонитор с гибким наконечником и шипами: 1 — вода; 2 — воздух; 3 — гидросмесь; 4 — пульповыдачная труба; 5 — рудный пласт; 6 — насадка; 7 — шипы; 8 — шланг; 9 — вертикальный став

фективности добычи гидромонитор и эрлифт в отдельности могли совершать колебательные движения определенной частоты и амплитуды. Это позволяло улучшать условия отбойки, поддерживать разрушенную руду во взвешенном состоянии и улучшать условия всасывания.

Для увеличения зоны действия струи К. Бринтоном (США) был предложен способ подачи воды в насадки по гибкому шлангу, который изгибается при переходе из скважины в камеру и подается на забой по мере отработки пласта (рис. 1.6).

Для интенсификации разработки фосфоритной руды Д. Пью (США) предложено нижний конец вертикального става трубы снабжать гибким шлангом с укрепленными на нем стальными шипами (рис. 1.7). При подаче воды по шлангу со сжатым воздухом вытекающая газожидкостная струя раз-

рушает руду. При этом под воздействием реактивной силы струи шланг совершает хаотические удары по забою, что интенсифицирует процесс разрушения.

Ф. Дональдсоном (США) предложена также конструкция скважинного гидромонитора, который может перемещаться по забою. Недостатки всех этих предложений: неуправляемость гибкого шланга и невозможность образования камеры заданной формы.

Для обеспечения направленного действия струи на забой В.В. Кротков и Е.С. Коваленко рекомендуют гибкий шланг в нижнем конце гидромонитора заключать в планочную цепь. Возврат шланга в исходное вертикальное положение производится под воздействием пластины-пружины. Может, однако, возникнуть заклинивание шланга в планочной цепи в результате забивки ее рудой.

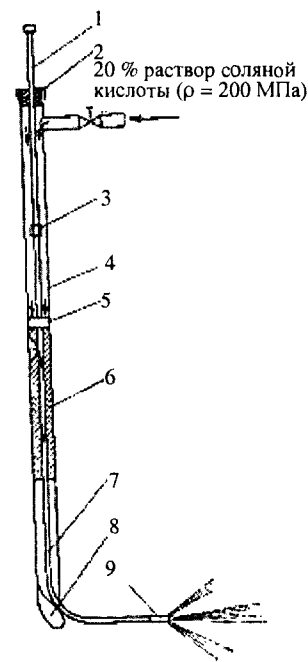


Рис. 1.8. Гидроперфоратор: 1 — штанга; 2 — сальниковое уплотнение; 3 — муфта; 4 — став гидроперфоратора; 5 — переходник; 6 — плунжер; 7 — выдвижной ствол ($l = 2,5$ м; $d_{кор} = 20$ мм, $d_{внутр} = 12$ мм); 8 — отклонитель; 9 — головка с насадками (диаметры боковых насадок 1,8 мм; центральных 1,6 мм)

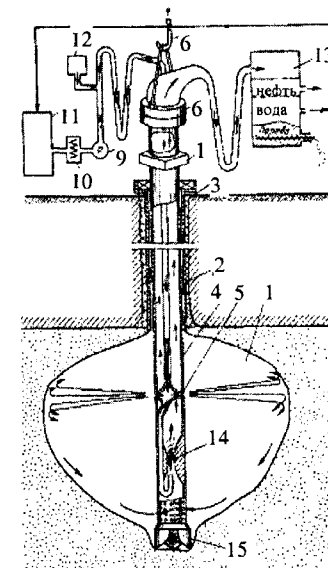


Рис. 1.9. Устройство для гидродобычи рыхлых битуминозных пород: 1 — добычная камера; 2 — затрубная цементация скважин; 3 — обсадная труба; 4 — пульповыдачная труба; 5 — насадка; 6 — крюк подъемно-транспортного механизма; 7 — поворотная труба; 8 — гидроповорот; 9 — насос; 10 — подогреватель; 11 — резервуар воды; 12 — емкость для подачи реагентов; 13 — сепаратор; 14 — гидроэлеватор; 15 — буровое шарошечное долото

Для разработки каналов в прочных породах Е.А. Степанчиков предлагает гидроперфоратор снабдить выдвигаемым стволом из обычной трубы с отклонителем, который (рис. 1.8) выдвигается вслед за разрушаемым забоем под давлением рабочей жидкости.

В последние годы появились более универсальные конструкции оборудования для СГД. Например, в патенте США № 4035025 оборудование предназначено для разработки глубоких месторождений. В нем для выдачи гидросмеси руды применяется эрлифт, а в другом варианте — эрлифт с насосом, установленным непосредственно во всасе пульповыдачной трубы. Здесь необходимое для работы эрлифта гидростатическое давление создается за счет давления сжатого воздуха, подаваемого в форсунку эрлифта по пространству между обсадной и водной трубами.

Скважинное горно-добычное оборудование, по патенту США № 3797590, также предназначено для разработки глубоких месторождений. Здесь для выдачи гидросмеси руды применяется грунтовый насос с гидравлическим приводом. Бурение добычных скважин и разработка ведутся буровым станком.

Скважинное оборудование, по патенту США № 3951457, предназначено для разработки битуминозных пород струей горячей воды (рис. 1.9). Выданная гидроэлеватором на поверхность гидросмесь поступает в сепаратор, в котором из нее выделяются породы, вода и нефть. Вода поступает на подогреватель и затем обратно подается в насадки гидромонитора (оборотная схема водоснабжения).

Несомненный интерес представляет оборудование для разработки погребенных месторождений металлосодержащих россыпей, по патенту США № 3917326. Оборудование расположено на понтоне. Проходка скважин и добыча осуществляется гидровихревым аппаратом, а проходка канав для движения понтона экскаваторами с обратной лопатой.

В целях увеличения объема добычи и создания камеры требуемой конфигурации Б. Эдмондом (США) была разработана конструкция сква-

жинного гидромонитора с телескопическим стволом с насадками (рис. 1.10). При опускании гидромонитора в скважину телескопический ствол находится в соосном положении с вертикальным водоводом. При подходе насадки к пласту в нее подается вода, размывается предварительная камера, а телескопический ствол гидромонитора выводится в горизонтальное положение. По мере отодвигания забоя от скважины звенья телескопического ствола выдвигаются, и струя действует на забой с близкого расстояния. Однако эти устройства были разработаны для подачи растворителя при подземном растворении калийной соли через скважины и не предназначены для работы в абразивной среде.

Перспективен метод СГД и для отработки погребенных под морским дном касситеритовых россыпей. Сложность обычной отработки этих россыпей земснарядами связана со значительным разубоживанием в процессе валовой выемки россыпей перекрывающими их рыхлыми пустыми породами, с длительной (до 10 месяцев) зимой и с волнением моря.

Сотрудниками Института физико-технических проблем Севера ЯФ СО АН СССР предложено разрабатывать эти россыпи методом СГД со льда путем искусственного замораживания морской воды и толщи покрывающих пород. Добычу предлагалось вести без гидромониторного разрушения одним гидроэлеватором. Опыт показывает, что для обеспечения рентабельности разработки целесообразно применять гидромониторное разрушение руды, а для откачки — эрлифт.

В изобретениях ГИГХСа предлагается комплекс скважинного гидродобычного оборудования для добычи фосфоритной руды в затопленной камере, состоящий из гидромонитора и эрлифта. Скважинный гидромонитор выполнен с телескопическим стволом с головкой. Конструкция сочленения звеньев телескопического ствола позволяет работать в абразивной среде без заклинивания. Головка имеет насадки: центральную врубную, боковую отбойную (вращающуюся) и транспортирующую, направленную в сторону всаса эрлифта (назад).

При разработке более крепких руд возникает необходимость сосредоточения удара струй боковой и центральной насадок. Для этого разработано устройство для поворота боковой насадки. Возможны случаи, когда давления воды недостаточно для разрушения руды, тогда телескопический ствол может упереться в забой и при-

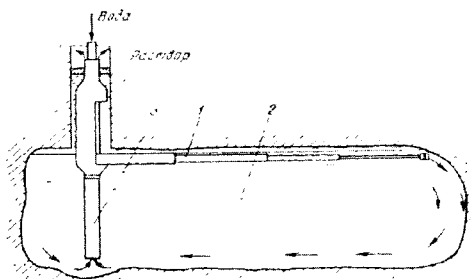


Рис. 1.10. Технология размыва калийной соли с применением телескопического ствола:

1 — телескопический ствол; 2 — камера растворения; 3 — рассолоподъемная труба

вести к поломкам ствола, головки или насадок. Для предотвращения этого разработан сигнализатор аварийного положения головки, который прекращает подачу головки на забой и дает сигнал на увеличение давления воды, подаваемой на насадки гидромонитора.

При разработке сильно обводненного месторождения для выдачи руды на поверхность предлагается применять эрлифт центрального типа с автоматической форсункой. Щели форсунки открываются только во время подачи воздуха, что предотвращает их забивку песком. Для подачи эрлифта до подошвы пласта и разжижения руды во всасывающую часть эрлифта подается вода через специальную насадку.

Для увеличения зоны всасывания и возможности разрабатывать пласты с неровной подошвой МГРИ предложено устройство для скважинной гидродобычи с телескопическим всасывающим устройством, которое может отклоняться от скважины на расстояние, равное мощности пласта (рис. 1.11).

Для увеличения эффективности струйного разрушения А.Я. Коденцевым предложен пульсатор давления специальной конструкции с малым поперечным сечением, что позволяет установить его непосредственно в скважине перед насадками.

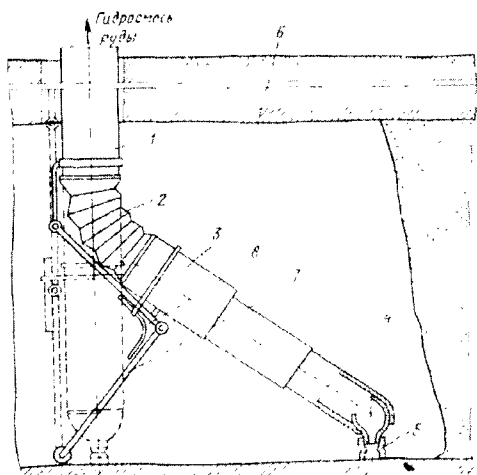
Наряду с механическими способами интенсификации разрушения руды, имеются предложения по химическому воздействию на пласт. Так, Р. Эрроу (США) для добычи фосфоритной руды через скважины предлагает произвести кислотную обработку пласта с целью разложения цементирующих веществ. Конкретные параметры

обработки и состав реагента рекомендуется выбрать в процессе опытных работ.

Другое интересное явление использовано в предложении США. Здесь через скважины в мельчайшие трещины и поры массива закачивается стабилизированный

Рис. 1.11. Скважинное оборудование с гибким всасом:

1 — вертикальный став; 2 — гибкий шланг; 3 — телескопический ствол; 4 — рудный пласт; 5 — всас; 6 — камера; 7 — шарнир; 8 — пружина



раствор перекиси водорода, который начинает реагировать с металлическими компонентами. В результате, лишившись стабилизирующего агента, раствор перекиси водорода начинает быстро разлагаться, переходя в газообразное состояние. При этом давление газа может достигнуть величины, превышающей прочность руды. В результате происходит разрушение массива и увеличение первоначальных трещин и пор. Раствор должен содержать 30—98 % перекиси водорода, $pH < 6$; температура его в зависимости от условий может быть в интервале 20—90°C.

В другом патенте США предлагается способ химического разрушения угля для последующей его добычи. К числу этих веществ относятся замещенные безводный метиловый спирт, этанол и изопропанол, ледяная уксусная кислота и различные их смеси. Процесс добычи заключается в бурении скважин и в оборудовании их двумя концентрически расположенными трубами. По внутренней трубе подают смачивающий агент и инертный газ, по внешней откачивают разрушенный уголь в смеси с воздухом и смачивающим агентом. Полученная смесь на поверхности разделяется, агент регенерируется и снова поступает через скважину в массив.

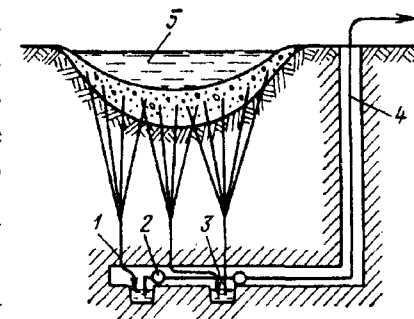
В результате жизнедеятельности некоторых видов силикатных бактерий водонасыщенные пески переходят в плавунное состояние. Этого можно достичь путем нагнетания в скважины раствора, содержащего силикатные бактерии с питательной средой. Однако для опробования этой рекомендации необходимо проведение исследований по выбору бактерий и состава питательной среды для конкретных горно-геологических условий.

В последние годы за рубежом появились многочисленные предложения по комбинированному способу выемки угольных пластов, и по некоторым из них уже ведется опытная добыча.

Примером комбинированного способа является добыча золотосодержащего песка. Наличие большого количества валунов не позволяет разрабатывать месторождение драгами. Под месторождением по

Рис. 1.12. Разработка золотоносного песка через скважины на месторождении, с большим количеством крупных валунов:

1 — скважина; 2 — землесос; 3 — зумпф; 4 — шахта; 5 — река



коренным породам проходятся подземные выработки (рис. 1—12). Из них бурятся восстающие скважины диаметром 76 мм. Мелкозернистый золотосодержащий песок с водой поступает через скважины в зумпфы землесосов, устроенные через определенное расстояние в подземных выработках. Песок в виде гидросмеси выдается на-гора землесосом.

Инженерные решения по разработке угольных месторождений методом СГД

Одна из главных проблем угольной отрасли — эффективная и жизнебезопасная деятельность человека при разработке угольных месторождений. Поэтому необходимо вести поиск в направлении альтернативных методов добычи угля. Технология СГД с точки зрения охраны труда, улучшения условий труда, а также смягчения экологического воздействия на природу обладает неоспоримыми преимуществами перед шахтами и разрезами.

Поэтому на основании имеющихся научных результатов и практики использования СГД была выполнена проектная разработка возможности и экономической целесообразности использования скважинной гидродобычи для разработки крутопадающих пластов Прокопьевского угольного месторождения.

Исходя из опыта работ института «ВНИИГидроуголь» по гидравлической разработке угля в условиях данного месторождения и оценке общей устойчивости вмещающих пород, ширина полосы разработки пласта по простиранию принимается 6 м.

Опытная технология включает различные варианты отработки угольного пласта и выноса разработанного угля на поверхность. По одному из вариантов производится разработка ненарушенной массы угля гидромониторными струями под давлением, близким к 10 МПа, подаваемыми из скважинного монитора, перемещаемого вдоль специально пробуренной в массе угольного пласта мониторинной скважины. Монитор оборудуется коротким стволом, включающим успокоитель и насадку, шарнирно соединенным со ставом напорных труб. Конструкция монитора позволяет перемещать его вдоль скважины вверх и вниз, вращать на 360° относительно оси скважины, а также управлять положением ствола в пределах 90° от

направления по оси скважины вниз до перпендикулярного к нему с фиксируемыми промежуточными позициями. Такая конструкция позволяет, как производить разрушение угольного массива, так и способствовать безнапорному гидротранспорту отбитого угля по направлению к выдачному устройству. Кроме того, конструкция монитора позволяет использовать его для расчистки возможных завалов приемного отверстия выдачного устройства.

Специальными технологическими приемами создаются условия работы гидромониторной струи в воздушной среде, что обеспечивает большую разрушающую способность струи на значительном расстоянии от насадки, во всяком случае, в пределах мощности разрабатываемого пласта и ширины захватываемой полосы по простиранию.

Разработка угля ведется при перемещении монитора снизу вверх, с необходимыми остановками на соответствующем уровне. Вращением ствола, ориентированного перпендикулярно к оси мониторинной скважины при низкой частоте вращения, порядка 1—2 об/мин, обеспечивается сканирование струей практически всей поверхности забоя и последовательное разрушение всего объема угля в пределах мощности пласта и заданной ширины полосы по простиранию.

Технология скважинной гидродобычи угля, помимо процесса собственно разработки включает и процесс гидравлической доставки разработанного материала на поверхность. Для этой цели предусматривается выдачная скважина. В данном случае выдачная скважина бурится от поверхности земли по вертикали до нижней отметки разработки крутопадающего пласта. В качестве конкретного выдачного устройства в процессе опытных работ предусматривается использование эрлифта. В качестве резервного средства, как вариант, может быть использован гидроэлеватор.

Выдачная скважина проходится вертикально, однако в случае недостаточной устойчивости вмещающих пород не исключается принципиальная возможность бурения наклонных выдачных скважин в ненарушенных породах за пределами мульды сдвижения. В этом случае возможность использования эрлифта проблематична.

Скорости, обеспечивающие взвешивание транспортируемого твердого материала, образуются внутри трубы, однако в потоке жидкости, вовлекаемой в приемное отверстие, они быстро падают по мере удаления от трубы. Поэтому эрлифт способен вовлекать осевшие на дно твердые частицы лишь в непосредственной близо-

* Работа выполнена в горном отделении РАЕН.

сти от приемного отверстия. При непрерывном поступлении твердого материала создается опасность завала приемной части эрлифта и забивки входного отверстия.

Обычно для обеспечения бесперебойной работы эрлифта в его конструкцию включают гидромониторную насадку, направленную в сторону приемного отверстия, или используют автономно работающий монитор, периодически направляемый в сторону приемного отверстия.

В проектируемых опытных работах по предложению Н.Г. Малухина намечено кроме перечисленных конструкций применение искусственного вихревого потока во внешней среде, который обеспечивает начальную скорость трогания (взвешивания) осевших твердых частиц в окрестностях входного отверстия эрлифта. Кроме того, вихревой поток, благодаря эффекту поперечной циркуляции, стимулирует движение взвешенных твердых частиц в радиальном направлении к приемному отверстию, располагаемому в центре вращения вихревого потока. Благодаря этому обеспечивается высокая консистенция гидросмеси и при этом оптимально используется транспортирующая способность эрлифта. Вихревой поток образуется с помощью специального вихреобразующего устройства, размещаемого в нижней части эрлифтной трубы. Для обеспечения искусственного вихреобразования в эрлифт подается, помимо сжатого воздуха, также и напорная вода. При использовании искусственного вихревого потока забивка входного отверстия исключается.

Взрывное дробление угля может быть также выполнено по различным схемам. Например, одновременное дробление всего разрабатываемого массива или дробление отдельными отсеками по мере их разработки.

Одним из возможных приемов разработки ненарушенного угля может быть следующий. В замкнутую разрабатываемую полость через герметизированную трубу подается водовоздушная смесь вплоть до получения заданного повышенного давления в полости.

Водовоздушная смесь заданного давления получается с помощью бустерного устройства — сосуда, в который под одинаковым давлением подаются воздух с помощью компрессора и вода с помощью вспомогательного насоса. Бустерное устройство, в котором происходит смещение воды и воздуха, соединяется с всасывающей линией основного насоса, который закачивает ее в разрабатываемую полость. На напорной линии основного насоса монтируется выпускной патрубок с быстрооткрывающимся вентиляем.

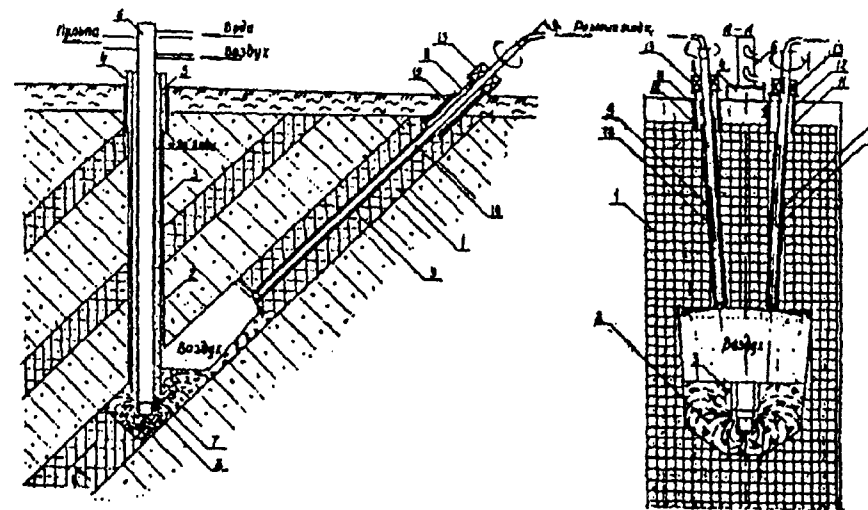


Рис. 1.13. Схема разработки ненарушенного угольного пласта с использованием вертикальной эрлифтной выданной трубы с регулируемым затоплением посредством герметизированной воздушной полости:

1 — разрабатываемый пласт; 2 — выданная скважина; 3 — обсадная труба; 4 — кондуктор; 5 — цементация; 6 — эрлифтная труба; 7 — воздушная насадка; 8 — вихревой поток; 9 — мониторинговая скважина; 10 — монитор; 11 — кондуктор; 12 — цементация; 13 — превентор

После определенной выдержки, в течение которой в полости поддерживается заданное давление, и это давление через трещины в угольном массиве передается на определенный объем массива, производится резкое открытие вентиля выпускного патрубка. В результате в замкнутой системе возникает сброс давления. Благодаря упругости среды, давление в массиве угля изменяется с большим градиентом, в результате массив испытывает динамический удар, который вызывает интенсивное дробление и обрушение определенного объема руды. После извлечения этого объема описанный прием повторяется многократно, до полной выработки пласта.

Схема 1, показанная на рис. 1.13 иллюстрирует описанную технологию разработки ненарушенного массива угля гидромониторной струей в искусственно созданной воздушной среде.

Разработанный уголь смывается по наклонной поверхности безнапорным потоком.

В нижней части пласта поддерживается магазин обрушенного угля, из которого уголь под действием вихревого потока поступает в приемное отверстие эрлифтной трубы с высокой консистенцией.

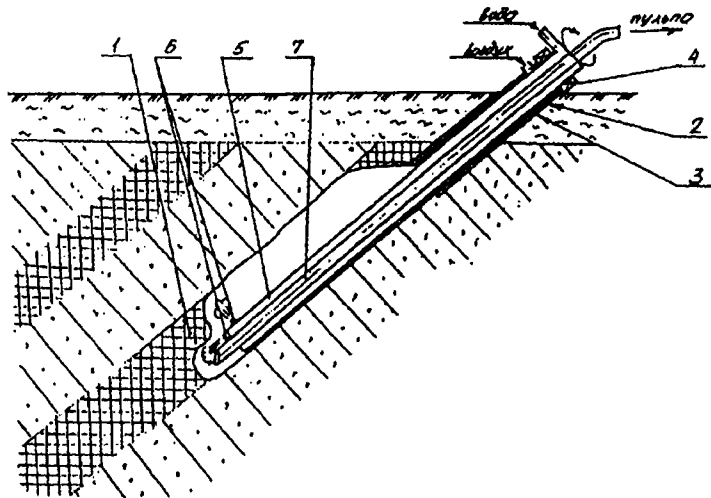


Рис. 1.14. Схема разработки ненарушенного угольного пласта сверху-вниз по наклонной скважине:
 1 — разрабатываемый пласт; 2 — обсаженная эксплуатационная скважина; 3 — цементация; 4 — превентор; 5 — водоподающая труба; 6 — гидромониторные насадки; 7 — пульпоподъемная труба

Схема 2, показанная на рис. 1.14 предусматривает отработку угольного пласта сверху вниз одной наклонной скважиной. Такое технологическое решение существенно уменьшает затраты на бурение скважин. Кроме того, здесь отсутствует операция по сбойке пульпоподъемных и гидромониторных устройств, т.к. они располагаются в одной скважине.

В процессе выемки угля производится опускание скважинного оборудования через превентор на длину секции 6—8 м. После этого прекращается подача напорной воды и наращивается секция скважинного оборудования.

После отработки пласта на заданную глубину, которая будет определяться исходя из давления, развиваемого компрессором, скважинное оборудование демонтируется из скважины.

В качестве пульпоподъемного оборудования в этой схеме может быть использован также гидроэлеватор, что позволит отказаться от герметизации скважины, но при этом значительно увеличится энергоемкость выемки угля.

Схема 3, показанная на рис. 1.15 иллюстрирует технологию разработки пласта с использованием взрывного дробления угля из вертикальных скважин отдельными блоками.

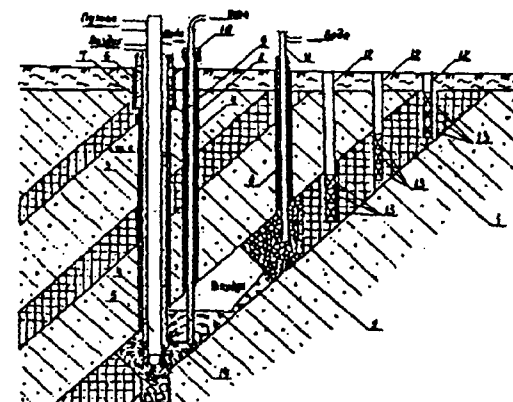


Рис. 1.15. Схема разработки угольного пласта с последовательным взрывным дроблением и обрушением угля отдельными блоками через вертикальные скважины с дополнительным смывом раздробленной массы через те же скважины:
 1 — разрабатываемый пласт; 2 — раздробленный блок угля; 3 — выдачная скважина; 4 — обсадная труба; 5 — эрлифтная труба; 6 — кондуктор; 7 — цементация; 8 — мониторинг скважина; 9 — монитор; 10 — превентор; 11 — смывная труба; 12 — зарядная скважина; 13 — заряды ВВ; 14 — вихревой поток

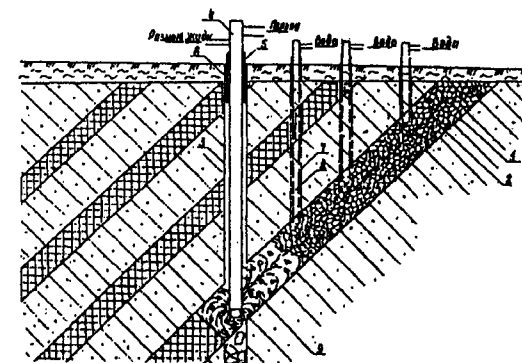


Рис. 1.16. Схема разработки раздробленного угольного пласта через выданную герметизированную трубу под повышенным давлением с использованием вихревого потока; при неудовлетворительном обрушении раздробленной массы используются дополнительно пробуренные скважины для подачи напорной воды:
 1 — разрабатываемый пласт; 2 — раздробленная масса угля; 3 — выданная скважина; 4 — выдачная напорная труба; 5 — кондуктор; 6 — цементация; 7 — дополнительная скважина; 8 — водоподающая труба; 9 — вихревой поток

Схема 4 (рис. 1.16) показывает технологию разработки пласта с использованием взрывного дробления одновременно всей массы угля. Разработка производится в замкнутом объеме, где создается давление, превышающее гидростатическое давление в окружающей среде.

Водовоздушная смесь подается через водяную трубу подъемного устройства.

Для подачи смеси под принятым давлением 10 МПа используются 2 плунжерных насоса типа 9МГР-61 или 9МГР-73, развивающие давление до 16 МПа при производительности 17 и 12,2 м³/ч соответственно. Для подачи сжатого воздуха используется компрессорная станция, входящая в комплект технологического оборудования. Для смешивания воды и воздуха используются 2 бустерные станции, в которые вода подается самотеком из емкости. Всаы насосов 9 МГР подключены к бустерным станциям, по ним поступает водовоздушная смесь и под давлением 10 МПа подается в скважину. Насосы работают параллельно, напорные трубопроводы объединяются в магистраль через смеситель, выравнивающий возможную разницу в давлениях.

Работы с взрывным дроблением всего массива угля выполняются в случае неудовлетворительного результата работ с закачкой водовоздушной смеси на том же объеме угольного пласта, а в случае удовлетворительного результата они выполняются на том же участке пласта после частичной отработки массива угля указанным методом динамического воздействия.

Перед взрывным дроблением всей массы пласта выдачная труба 4 поднимается выше кровли пласта, а после завершения дробления опускается и герметизируется. Взрывное дробление пласта производится из наклонных зарядных скважин, пробуренных с поверхности вдоль пласта. После выполнения взрывного дробления массива зарядные скважины ликвидируются. При расчете значений технологических параметров приняты следующие исходные данные. Суммарный рабочий расход воды на все процессы принят в количестве 300 м³/ч, что соответствует производительности одного насосного агрегата типа ЦНС-300—1000. Для варианта с использованием гидроэлеватора предусматривается задействование дополнительно двух насосов ЦНС-300—1000. Максимальное расчетное давление, используемое в гидродобычном оборудовании, принимается 10 МПа.

С целью выбора эффективной технологической схемы разработки крутопадающих угольных пластов скважинным способом разработано специальное оборудование (рис. 1.18—1.21). Из условия отработки пласта гидрооборудование является составным (секционным), что позволяет получить при необходимой надеж-

ности соединений достаточную гибкость става при эксплуатации, т.е. снятие вредных нагрузок и перенапряжений в соединениях, особенно при местных завалах и обрушениях. Максимальный габарит диаметра става гидродобычного оборудования принят из условия применения обсадной трубы Ø 325 x 8. Герметизирующие устройства внутри обсадной трубы позволяют удерживать избыточное давление в камерах эксплуатационных скважин порядка 0,5...0,7 МПа. Гидродобычное оборудование привязано к исходному оборудованию с характеристиками: расход воды до 300 м³/ч, давлением до 10 МПа; расход воздуха до 2400 м³/ч, давление до 3,5 МПа. В комплект предлагаемого оборудования входят такие изделия, как:

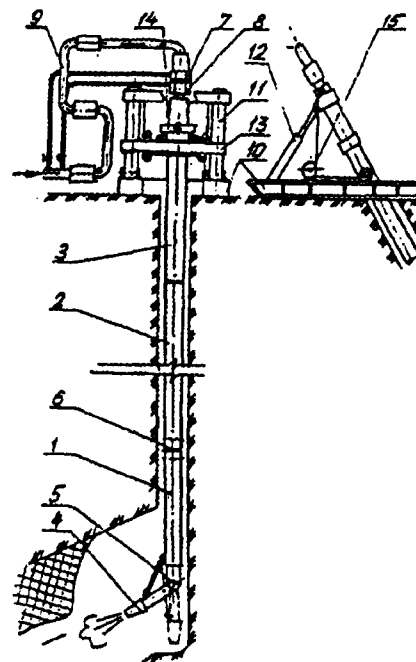


Рис. 1.18. Скважинный гидромониторный агрегат:

1 — нижняя секция; 2 — промежуточная секция; 3 — верхняя секция; 4 — ствол гидромонитора; 5 — нижний шарнир; 6 — стыковочный узел; 7 — верхний шарнир; 8 — гидроцилиндр вывода ствола; 9 — шарнирный водовод; 10 — сани платформы управления; 11 — стойки; 12 — укосины; 13 — подвижная траверса; 14 — поворотный механизм

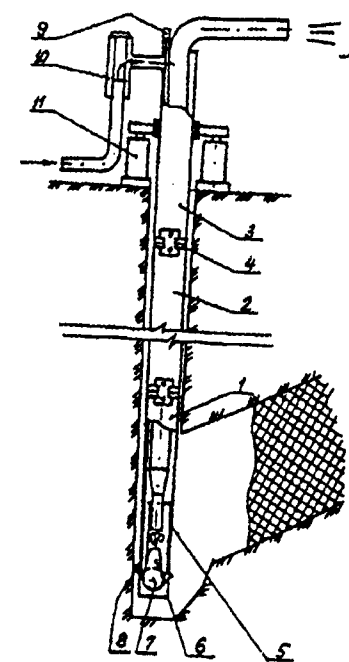


Рис. 1.19. Скважинный гидроэлеваторный агрегат:

1 — нижняя секция; 2 — промежуточная секция; 3 — верхняя секция; 4 — стыковочный узел; 5 — перфорированная крышка приемной камеры; 6 — основная и вспомогательная насадки; 7 — устройство переключения насадок; 8 — тяга управления устройством; 9 — гидроцилиндр; 10 — телескопический водовод

- грузовая платформа, на которой базируются все виды оборудования СГД, и обеспечивается управление всеми типами агрегатов;
- скважинный гидромониторный агрегат предназначен для размыва угольного пласта в незатопленных условиях, в том числе при избыточном давлении воздуха в подземной камере через вертикальные и наклонные скважины;
- скважинный гидроэлеваторный агрегат предназначен для подъема на поверхность гидросмеси угля крупностью до 80 мм по вертикальным или наклонным скважинам в незатопленных условиях при естественном атмосферном давлении;
- скважинный эрлифтный агрегат предназначен для подъема по выдачной скважине гидросмеси угля крупностью до 150 мм на поверхность из затопленной камеры и из камеры с избыточным давлением воздуха;
- устройство для напорного подъема гидросмеси обеспечивает подъем взорванной массы угля на поверхность через вертикальную скважину при избыточном давлении воды в подземной камере;
- комбинированный гидродобычный агрегат применяется при разработке угольного пласта через наклонные скважины при создании избыточного давления воздуха в подземной камере. Он может использоваться для сбояки по пласту наклонной скважины и вертикальной эрлифтной или гидроэлеваторной скважиной, для размыва и подъема угля на поверхность при отработке пласта сверху вниз по падению и при гидромониторном размыве пласта снизу вверх.

Оценка экономической эффективности проекта показала, что производительность труда повышается в несколько раз, а себестоимость существенно уменьшается в сравнении с отработкой угля подземным способом.

Комбинированная технология СГД угля осуществляется в подземных горных выработках. Она может иметь разные направления отработки: по восстанию, падению и простиранию пласта (рис. 1.17).

Первая из них предполагает бурение скважин из штрека на глубину 10—100 м по восстанию пласта в зависимости от устойчивости покрывающих пород. В скважине монтируется гидромонитор, состоящий из секций труб с насадкой на конце, перпендикулярной ставу труб. Отработка пласта ведется сверху вниз.

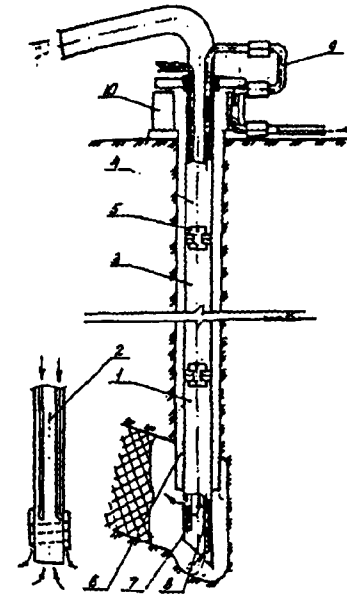


Рис. 1.20. Скважинный эрлифтный агрегат:

1 — нижняя секция со стационарной насадкой; 2 — нижняя секция с вихреобразующим устройством; 3 — промежуточная секция; 4 — верхняя секция; 5 — стыковочный узел; 6 — обсадная колонна скважины; 7 — воздухопроводная труба с форсункой; 8 — водопроводная труба; 9 — шарнирный водовод; 10 — платформа управления

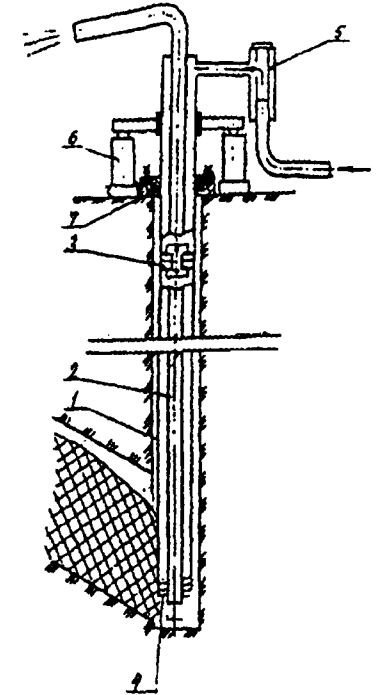


Рис. 1.21. Устройство для напорного подъема гидросмеси:

1 — водоподающая труба; 2 — пульпоподъемная труба; 3 — стыковочный узел; 4 — вихреобразующее устройство; 5 — телескопический водовод; 6 — платформа управления; 7 — устройство герметизации скважины

По варианту схемы, предложенному институтом УкрНИИГидроуголь, разрушенный уголь транспортируется вниз по той же скважине, в которой расположен скважинный гидромонитор. По мере размыва пласта, секции гидромонитора постепенно демонтируются из его става. По варианту, предложенному ИГД им. А.А. Скоринского, транспорт угля осуществляется через соседнюю, ранее отработанную камеру или транспортную скважину, пробуренную по восстанию вдоль границы, обрабатываемой полосы. Скважинный гидромонитор управляется дистанционно и выполнен из шарнирно соединенных звеньев, что позволяет перемещать его по скважине и укладывать в горной выработке без остановки процесса размыва.

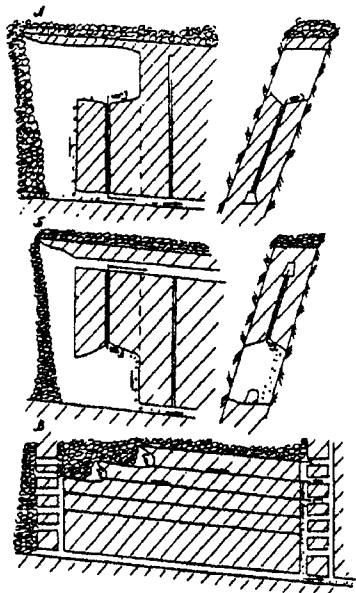


Рис. 1.17. Схемы подземной скважинной гидродобычи угля: А — по восстанию пласта; Б — по падению пласта; В — по простиранию пласта

Технологическая схема ПСГД по падению пласта осуществляется через скважину, соединяющую два штрека, расстояние между которыми по падению пласта может достигать 50—100 м. Скважинный гидромонитор, аналогичный описанному в предыдущей схеме, монтируется из верхнего штрека, куда и поднимается по мере размыва полосы по падению пласта. Разрушенный уголь под собственным весом попадает на нижний штрек и самотеком транспортируется по нему. При этой схеме всегда обеспечивается размыв свободной гидромониторной струей, что способствует повышению эффективности гидравлического разрушения, однако технология выемки усложняется необходимостью оставления или погашения целика над верхним штреком.

Технологическая схема ПСГД по простиранию пласта позволяет применить более эффективный способ управления горным давлением полным обрушением вышележащих пород в процессе размыва в отступающем порядке, что невозможно при выемке по восстанию или падению пласта. Скважина, пробуренная по простиранию пласта на глубину до 100 м, служит для размыва пласта смонтированным в ней скважинным гидромонитором и самотечного транспорта разрушенного угля, поэтому она бурится под определенным уклоном.

Технология позволяет снизить себестоимость добычи угля как по сравнению с буровзрывной технологией, так и с традиционной гидравлической технологией, снизить затраты времени и материалов на проходку и крепление выработок, увеличить производительность труда по выемочному участку, повысить нагрузку на выемочный участок при одновременной отработке нескольких скважин, снизить долю ручного труда за счет механизации процессов бурения скважин и монтажа скважинного гидромониторного оборудования, повысить безопасность труда шахтеров благодаря нахождению горнорабочих на значительном расстоянии от добычного забоя.

1.4. Состояние работ по скважинной гидродобыче

В Соединенных Штатах Америки были проведены опытно-методические исследования и опытно-промышленные работы по скважинной гидродобыче урана, фосфоритов, коксующихся и битуминозных углей, нефтеносных песков.

На месторождении урана рудоносные песчаники прочностью до 140 кг/см^2 разрушались с помощью гидромонитора, совмещенного в одном агрегате с гидроэлеватором, диаметром 324 мм, при диаметре добычной скважины 406 мм. Глубина добычи 23—32 м, мощность рудного пласта 1,8 м. Добыча из одной скважины составила 600 т, средняя производительность, по твердому 8 т/час, радиус размыва песчаника — 7,6 м.

В штате Флорида работы по СГД выполнены на месторождении фосфоритов.

Глубина добычи 76—101 м, мощность фосфоритоносного горизонта 6 м, прочность руды 126 кг/см^2 . Диаметр добычной скважины 406 мм, объем добычи 1800 т, производительность скважины 40—50 т/час твердого, радиус размыва 5,5 м.

Коксующиеся и битуминозные угли (штат Вашингтон) добывали способом СГД с глубины 24—26 м, мощность пласта 1,8—2,0 м. Прочность углей 315 кг/см^2 . Диаметр добычной скважины 300 мм. Рабочий агент — вода, которая подавалась под давлением 10—100 МПа. Скважины проходились через 20 м. Добыча из одной скважины составила 33 т, производительность 8 т/ч твердого, радиус размыва 4,6 м. Нефтеносные пески прочностью 35 кг/см^2 добывались способом СГД с глубины 42,7 м. Общий объем добычи составил 1000 т, производительность скважины 14 т/ч твердого, радиус размыва 5,4 м. Скважинные гидродобычные агрегаты работали в затопленном забое, чем объясняется небольшой радиус размыва твердого полезного ископаемого (4,8—7,6 м).

Во всех случаях наблюдалась просадка кровли, что требовало рекультивации земель. Обращает на себя внимание высокая крепость разрушаемых пород (руд): фосфориты — 126 кг/см^2 ; ураноносные песчаники — 140 кг/см^2 , угли — 315 кг/см^2 .

До настоящего времени промышленностью США способ СГД в полном масштабе освоен не был.

В 1993—1994 гг. В США фирмой Ресурс-Девелопмент совместно с научно-производственным центром «Геотехнология» были

выполнены способом СГД работы по созданию камер для хранения нефти и газа в природных солях (на глубине 1000—1200 м в районе г. Хьюстон (штат Техас) и в угольных пластах (на глубине 1000—1100 м) для сбора метана и его утилизации (штат Нью-Мексико).

В Индии проводились опытные работы по СГД россыпных месторождений золота и касситерита. В 1995 г. Индия проявила заинтересованность в создании опытного предприятия по добыче способом СГД богатых железных руд коры выветривания («голубая пыль»).

В ЮАР опытные работы способом СГД проводились на россыпных месторождениях золота, в последние годы велись работы на шельфе по добыче алмазоносных и титаноциркониевых песков. Глубина добычи не превышала 50 м.

В Австралии проводились опытные работы по СГД не глубоко залегающих россыпей золота. Промышленного развития способ СГД не получил.

В Венгрии выполнялись работы по СГД бокситов. Отработке подвергались глинистые разности бокситов.

В Югославии по проекту НПЦ «Геотехнология» было создано опытно-промышленное предприятие в районе г. Белграда по СГД стекольных песков. Глубина залегания стекольных песков 40 м, мощность пласта 12—15 м. Достигнута производительность 60—80 м³/час твердого. В результате работ установлено улучшение качества песков за счет их самообогащения — удаление глинистой фракции и гидроокислов железа. Произошло и восстановление уровня воды в основных горизонтах, питающих населенные пункты района.

Сотрудниками горно-геологического факультета Белградского университета и НПЦ «Геотехнология» (Россия) был разработан план и выполнено проектирование строительства комплексов СГД на месторождениях бокситов, полиметаллических и железных руд. Начавшаяся гражданская война привела к распаду федерации и нарушила эти планы.

Интерес к СГД твердых полезных ископаемых в разное время проявляли Монголия (россыпи касситерита), Китай (металлоносные коры выветривания), Кувейт (энергетические угли), Турция (энергетические угли), Нигерия и др. государства Африки (россыпи золота).

Наиболее масштабные работы по СГД твердых полезных ископаемых были проведены в Советском Союзе.

Одними из первых были выполнены опытные работы по СГД водонасыщенного тонкозернистого (0,01—0,25 мм) рудоносного песка мощностью около 10 м, залегающего на глубине 50—70 м институтом гидродинамики СО АН СССР. Предварительно теоретическими и лабораторными исследованиями на модели было установлено, что этот песок относится к песчано-коллоидным породам, течение которых описывается уравнением Шведова — Бингама. В результате его решения были получены теоретическая производительность установки, радиус камеры и радиус влияния откачки руды в зависимости от мощности пласта. Расчеты показали, что при мощности пласта 10 м радиус влияния составляет около 500 м, объем добычи 157 тыс. м³, себестоимость добычи 0,27 руб./м³.

Опытная добыча производилась через скважины диаметром 229 мм с глубины 60 м гидроэлеватором кольцевого типа с соосно расположенными трубами диаметрами 219 и 146 мм. Всасывающий конец гидроэлеватора был погружен в пласт на одну треть его мощности. После откачки 100 м³ песка произошел обвал налегающих пород, и приток песка к скважинам прекратился. Причиной этой аварии явилось то, что откачку начали с верхней части пласта. При слабых покрывающих породах это привело к их обрушению. Правильнее было бы откачку вести по фронту несколькими скважинами с нижней части пласта; это дало бы возможность по мере его подработки управлять опусканием кровли.

С 1964 г. сотрудниками ГИГХСа, ВНИИГа, ВНИПИИ Стромсырья и производственного объединения «Фосфорит» велись исследовательские, опытные, конструкторские работы и опытно-промышленные испытания оборудования для добычи глубокозалегающих фосфоритных руд, а также для разработки части Кингисеппского месторождения под Нарвским водохранилищем. Первые опытные работы начались с попыток откачивать руду гидроэлеватором. Разрушить рудный пласт созданием в нем фильтрационного потока не удалось, т.к. значительная трещиноватость покрывающих пород препятствовала созданию необходимого градиента давления в пласте. Дальнейшая разработка велась с применением гидравлического разрушения и гидроэлеваторной выдачей отбитой руды. Однако из-за обильного водопритока уровень воды в камере поднимался выше насадки, и разрушение велось в полузатопленной камере. В результате объем добычи из нее

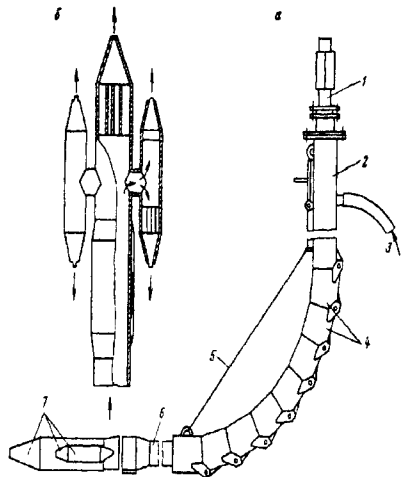


Рис. 1.22. Скважинный гидромонитор с гибким наконечником, заключенным в цепную трубчатую направляющую: а — общий вид; б — головка; 1 — вертикальный став; 2 — направляющая труба; 3 — вода; 4 — соединенные отрезки трубы; 5 — трос для управления гибким шлангом; 6 — шланг; 7 — насадки

составлял не более 150—200 м³, что было недостаточно для рентабельной разработки месторождения. Так же безуспешными были попытки применить гибкий шланг с насадкой для увеличения объема добычи. Для улучшения управления шлангом его поместили в сочлененные между собой трубки (рис. 1.22). Однако пространство между шлангом и трубками забивалось песком, и управление гидромонитором затруднялось.

Таким образом, опробование в условиях Кингисеппского месторождения известных устройств показало их несоответствие условиям прибалтийских месторождений. Относительно малая мощность рудного пласта, наличие в нем пропластков крепких пород и полная обводненность потребовали создания специального гидродобычного оборудования и технологии добычи.

Разработанный ГИГХСом совместно с институтом ВНИИ-ПИСтромсырье гидродобычный агрегат состоял из скважинного гидромонитора, эрлифта, подъемно-транспортной части и землесосной установки (рис. 1.23).

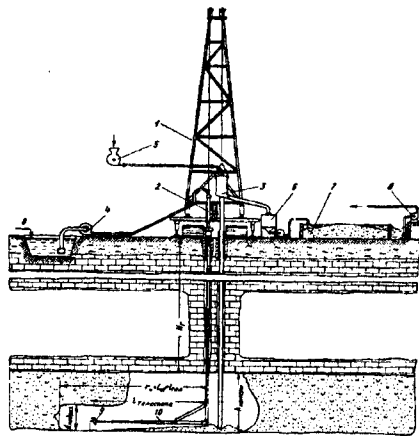


Рис. 1.23. Самоходный гидродобычный агрегат:

1 — подъемно-транспортная часть гидродобычного агрегата; 2 — гидромонитор; 3 — эрлифт; 4 — насос; 5 — компрессор; 6 — землесос с зумпфом; 7 — рудный склад; 8 — насос обратного водоснабжения; 9 — вращающаяся гидромониторная головка; 10 — телескопический ствол гидромонитора

Для освоения технологии скважинной гидродобычи и испытания оборудования в промышленных масштабах на Кингисеппском месторождении был введен в эксплуатацию опытно-промышленный участок мощностью 100 тыс. т/год. Работы показали техническую возможность и экономическую целесообразность метода СГД и работоспособность предложенного скважинного оборудования.

При отработке скважин были достигнуты следующие показатели: средний объем добычи по одной камере составлял 800 т (600—1200 т), средняя производительность агрегата — около 65 т/ч (до 80 т/ч), удельные расходы воды и воздуха соответственно 5—6 и 20—25 м³/т. В среднем за месяц одним агрегатом обрабатывалось 11—12 скважин, т.е. обеспечивалась добыча около 10 тыс. т руды.

Разработка месторождений обводненных фосфоритов методом СГД в Польской Народной Республике велась на месторождении в Буженине в 1965—1967 гг., где было пробурено семь скважин по сеткам 30x30 и 40x40 с обсадкой трубами 16" до рудного пласта. Добыча производилась одним эрлифтом. Для предотвращения заклинивания работы эрлифта обвалившимися крупными кусками породы его заключали в подвижную трубу 12", которая перемещалась по пласту вслед за всасом эрлифта.

При проектировании этих работ предполагалось, что если угол естественного откоса будет 30°, то объем добычи из одной камеры составит около 1000 т руды. Однако практически добыча из одной камеры не превысила 100 т, основная причина — наличие пропластков, которые препятствовали подходу руды к устью скважины, и поэтому объем камеры не получился требуемого размера. Кроме того, возникали такие трудности, как забивка всаса и выдачной трубы эрлифта и гидротранспортных труб на поверхности.

В 1964—1965 гг. в Тарнобжеге были проведены опыты по добыче кварцевых песков для стекольной промышленности. Пласт песков мощностью до 30—60 м залегали на глубине до 40 м. Месторождение сильно обводнено. Добыча производилась одним эрлифтом без гидромониторного разрушения. Было пробурено и отработано четыре скважины. Максимальная добыча из одной камеры составляла 900 м³ при мощности пласта 30 м. При разработке очередной камеры произошел обвал поверхности и образовался кратер диаметром 14 м и глубиной 8—10 м. После этого опыты были прекращены. Основной причиной отрицательных результатов было то, что система разработки не учитывала влияния параметров технологии на деформацию поверхности.

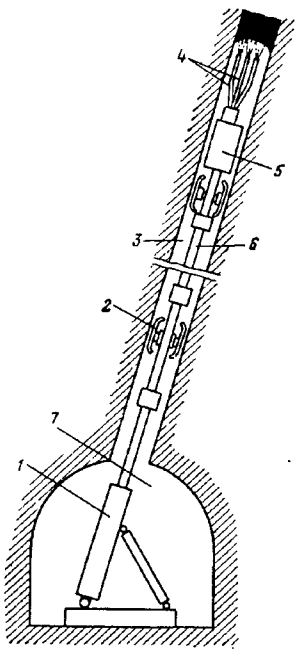


Рис. 1.24. Комбинированный скважинный агрегат для проходки передовой скважины в лаве и ее отработки:

1 — станок подачи; 2 — опорный фонарь; 3 — скважина; 4 — насадки; 5 — пульсатор; 6 — телескопический ствол; 7 — штрек

Метод СГД был применен в США при опытной разработке уранового месторождения с глубины 61—107 м. Для разрушения руды применялся гидромонитор с двумя насадками: расход воды через них составлял $110 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении воды 5,6 МПа. Кроме того, вода подавалась в насадку гидроэлеватора ($134 \text{ м}^3/\text{ч}$) и к буровой коронке ($27 \text{ м}^3/\text{ч}$) для разрушения крупных частиц руды, отбитой гидромонитором. Затем руда через решетку попадает во всас гидроэлеватора. Средняя производительность гидроэлеватора — $46 \text{ м}^3/\text{ч}$ по руде ($136 \text{ м}^3/\text{ч}$ по гидросмеси).

Концентрация твердого в пульпе 60 % по массе. Уровень пульпы в камере поддерживался таким, чтобы струя действовала в воздушной среде. Установлено, что при мощности пласта 1,8 м добыча составит 720 т руды с каждого метра скважины при радиусе камеры 9,15 м.

На основе этой разработки в дальнейшем предполагалось разрабатывать более глубокозалегающие месторождения. Рассчитано, что при совместной работе гидроэлеватора с эрлифтом возможна добыча с глубины до 460 м. Кроме того рассмотрена возможность закачки воздуха в герметичную камеру с целью уменьшения затраты энергии на подъем пульпы. Подсчитано, что применением гидроэлеватора совместно с эрлифтом и закачкой воздуха в камеру можно рассчитывать на успешную скважинную гидродобычу с глубины 2290 м.

В последние годы широкое применение нашел скважинный гидромонитор в сочетании с буровым долотом для бурения скважин. Иногда они применяются для расширения скважин до камеры диаметром несколько десятков метров для подземного хранения в них газа, нефти, а также вредных отходов производства. Метод на-

шел применение для сбойки скважин между собой для целей подземной газификации угля, растворения соляных месторождений.

Весьма перспективно применение скважинного гидравлического оборудования для проходки подготовительных выработок и очистной выемки в угольных шахтах, опасных по выбросу газа, так как оно позволяет осуществлять безлюдную добычу. Например, на шахте «Самсоновская» № 1 в Донбассе применен агрегат АГС-1 при проходке скважин снизу вверх на всю высоту этажа (140 м) (рис. 1.24). Затем проходческий гидромонитор заменяется очистным, и при обратном ходе производится гидравлическая очистная выемка угля. При дальнейшей разработке эта технология может помочь решить многие проблемы разработки тонких крутопадающих пластов с высоким содержанием метана.

Гидродобыча раздельно зернистых полезных ископаемых через скважины при неустойчивой кровле пласта (рис. 1.25, 1.26)

Работа выполнялась в 1980—82 гг. под руководством к.т.н. Д.Н. Шпака в Западной Сибири. Из-за 80 % заболоченности поверхности, песок в основания под буровые установки, стройплощадки и дороги завозят автотранспортом на расстояния до 50—80 км, причем объемы перевозок по ремонту превышают 150 млн $\text{м}^3/\text{год}$. Стоимость песка составляет от 8—10 руб. и до 18—20 руб./ м^3 . Гравий в районы нефтяных и газовых месторождений Среднего Приобья и Севера Тюменской области доставляют по рекам в короткий навигационный период с материковых карьеров за 1,5—2 тыс. км. До 30 % земляных работ в регионе выполняется с применением земснарядов, однако этот метод применим в поймах крупных рек и только в летний период.

В степной зоне Алтая так же нет песка и гравия, доступного для безвскрышной разработки и дальность перевозок стройматериала железнодорожным транспортом составляет 400—600 км. Дефицит поверхностного песка и гравия наблюдается повсеместно.

Государственным научно-исследовательским институтом горно-химического сырья (ГИГХС) и производственными организациями при участии институтов ВНИИПИСтромсырье, ВНИИГ разработан и испытан метод скважинной гидродобычи раздельнозернистых пород, который можно применять для гидронамыва глубинного песка и гравия непосредственно в дороги и основания для строительства или бурения [3, 4], а так же разрабатывать глубинные пески в действующих карьерах без нарушения водного режима.



Рис. 1.25 Скважинная гидродобыча песков в болотах Тюмени

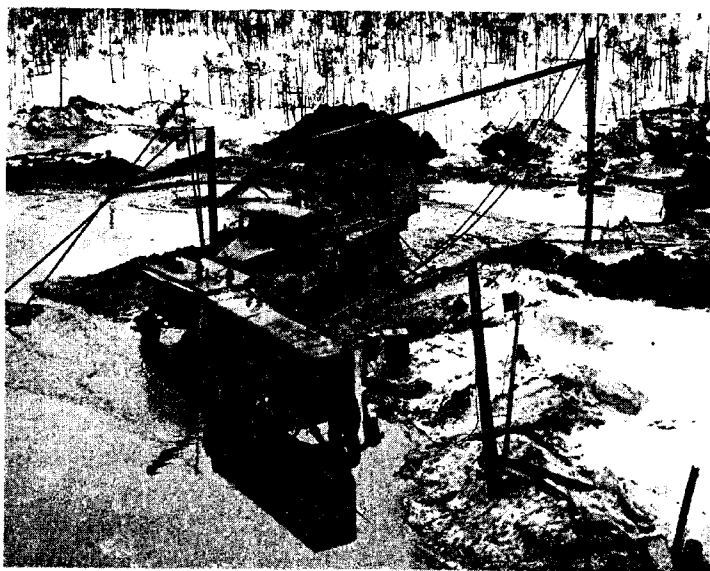


Рис. 1.26. Технологический комплекс добычи песков для намыва оснований для бурения нефтяных скважин

Технология включала гидромониторный размыв пород, образование на забое скважины текучей гидросмеси, откачку ее эрлифтом на поверхность, намыв песка на площадку, возврат осветленной воды в добычный процесс.

Мобильная установка включала в себя серийное оборудование: буровой агрегат 1БА-15В или УРБ-ЗАМ, насосы для питания гидромонитора 9МГр или 9Т и компрессоры для работы эрлифта: ДК-9, ПР-10, НВ-10М.

Скважинное оборудование собирали из труб на сварных или муфтовых соединениях. Разрушение структуры песчаных пород предусмотрено фильтрационным методом, методом гидромониторного размыва или их комбинацией. Безопасное ведение работ в условиях сдвижения подрабатываемой поверхности обеспечивалось использованием плавучих оснований для размещения оборудования и скважинной оснастки, путем применения дистанционно управляемых скважинных земснарядов с опорой их на забой скважины, бурением наклонно-направленных стволов. Управление выемкой песка велось за счет применения подвижных скважинных гидромониторов, а также путем применения обсадных колонн или затрубных пакеров при фильтрационном способе воздействия на пласт. Основой безаварийной скважинной оснастки являлся эрлифт, в котором предусмотрено непрерывное пульпообразование и автоматическая расчистка пульпоприемных отверстий в случае их забивания, механическое разрушение неоднородных включений^{5,6}.

Эксплуатация скважин велась круглосуточно при непрерывной рабочей неделе. При этом две смены по четыре человека обеспечивали выполнение буровых и намывных работ по 12 ч в сутки поочередно в период 15 дневной вахты звена из 9 человек, на удаленном от базы объекте на расстоянии до 450 км.

Экспериментальные работы были проведены в 1980—1984 гг. в семи районах Среднего Приобья, в Томской области и Алтайском крае, где из пластов мощностью 8—44 м с глубин 15—270 м извлекался песок и намывался в опытные площадки. Получены следующие показатели: производительность эрлифта по твердому 10—40 м³/ч, расход воды на гидромонитор 40—120 м³/ч при давлении 1—6 МПа; расход воздуха на эрлифт 8—24 м³/мин при давлении до 1,2 МПа, удельный расход воды 1:4 м³, воздуха 20:40 м³ на 1 м³ грунта и зависит от глубины разработки; время бурения скважины глубиной 100 м с монтажом эрлифта и исследованиями — 16 ч; время монтажа станка 8 ч на твердой поверхности и 48 ч с устройством лежневого настила на болоте длиной 50 м. Обеспечена безаварий-

ная работа эрлифта в условиях неоднородного по крупности грунта и при дистанционном управлении добычным оборудованием до полной отработки скважины 10—20 суток непрерывной работы. Оседание поверхности наблюдалось повсеместно при глубинах разработки до 170 м и добыче из скважины более 200 м³ песка.

Был испытан эрлифт диаметром 168 мм для добычи песка с глубины 270 м с обсадкой верхней части скважины на глубину 150 м трубами диаметром 350 мм. Для размыва пласта и разжижения песка на забой подавали воду под давлением 6 МПа по трубам диаметром 65 мм с одного насоса 9 МГР (40 м³/час). На две насадки — одну размывающую боковую, направленную вверх по подъемной колонне для разжижения и создания подпора для повышения производительности эрлифта, который работал от одного компрессора ПР-10 ($Q = 10 \text{ м}^3/\text{мин}$, $P = 1,0 \text{ МПа}$) при глубине погружения форсунки 70 м. Производительность эрлифта составила 40 м³/час гидросмеси и 8 м³/час песка. За 10 суток непрерывной работы было добыто более 1200 м³ песка.

Из другой скважины аналогичной конструкции, расположенной в 55 м от первой, за 18 суток эксплуатации было добыто 3,2 тыс. м³ песка. Просадки поверхности в данном случае не произошло.

Учитывая относительно низкие прочностные свойства покрывающих пород, низкую проходимость заболоченной поверхности, небольшие мощности песчаных пластов, в последнее время разработан и испытан в производительных условиях способ добычи грунта через наклонные скважины. Существо нового способа состоит в том, что скважинное оборудование собирают на поверхности, подсоединяют гибкими шлангами устьевую часть к насосам и компрессорам, затем подъемным краном устанавливают добычной инструмент под углом к поверхности и гидромониторным способом проходят скважину через покрывающие породы до песчаного пласта. Затем подают на эрлифт сжатый воздух и откачивают песок вместе с водой на поверхность. Этим способом впервые было пройдено две скважины в Алтайском крае для добычи крупнозернистого песка с глубины 12—18 м.

Для добычного скважинного снаряда использовались подъемные трубы диаметром 168 мм и агентоподающие 50 мм трубы, которые располагались в одном случае снаружи, а в другом внутри

подъемной колонны. Начальная длина снаряда 21 м. В экспериментальных работах использовались насосы НЖН-600 с приводом от двигателя автомобиля ГАЗ-53 производительностью 600 л/мин и давлением 0,42 МПа при 1400 об/мин.

Воздух подавался от компрессора ПК-15В производительностью 3,6 м³/ч при давлении до 0,7 МПа. Для подъема снаряда и направления его в размываемую скважину под углами 40 и 60° применяли автомобильные краны грузоподъемностью 5 т. Скорость проходки наклонной скважины на глубину 12 м по суглинкам составила 5 м/ч, по глинам — 3 м/ч. В результате исследований был сделан вывод о том, что увеличение мощности насосов повысит надежность и производительность гидромониторного бурения, а также, расширит область применения метода на месторождениях песчано-гравийных стройматериалов, в кровле которых залегают плотные тяжелые глины, мергели, глинистые сланцы и другие трудноразмываемые горные породы. Метод эффективен для добычи глубинного песка в пределах действующих карьеров.

Монтаж скважинного эрлифтного земснаряда в скважине на сварке, демонтаж крана, устьевая обвязка скважины с 12 метровым горизонтальным сливом заняли 3 ч работы бригады из 6 человек. За 2,5 ч работы 150 мм эрлифта было намыто 40 м³ грунта, из которых 35 м³ составлял крупнозернистый песок и 5 м³ — тонкозернистый песок с содержанием глины до 50 %.

Производительность по твердому составила 16 м³/ч, по гидросмеси — 40 м³/ч. Удельный расход воздуха составил 2,3 м³, воды 1,1 м³ на 1 м³ песка. Перед остановкой скважина работала без подачи напорной воды с поверхности, т.е. гидросмесь образовывалась в подъемной колонне за счет интенсивного притока грунтовых вод из горизонта крупнозернистого песка. Через 12 ч после остановки скважины на поверхности над выработанным пространством образовалась мульда сдвижения поверхности диаметром 5 м.

Оседание поверхности в районе выемки глубинного песка из незакрепленных скважин является сопутствующим явлением метода и происходит через 4—12 ч после начала работ. Мульда сдвижения поверхности формируется относительно центра подземной выработки. При твердо-пластичных породах кровли пласта наблюдалось круговое и расходящееся от центра трещинообразование и последующее ступенчатое сдвижение пород по этим трещинам.

Ликвидировались скважины подъемом труб и тампонажем ствола глинистым материалом. Наклонные эрлифты можно наращивать постепенно по мере проходки скважины по песчаному пласту с последующей выемкой песка и подтягиванием эрлифта «на себя», т.е. к устью скважины. Значительным преимуществом наклонных скважин является обеспечение добычи песка без применения бурового станка, возможность выполнения работ с ограниченной площадки из под окружающих болот, простота монтажных работ, многократное использование скважинного земснаряда, простота выполнения ремонтов в наклонной скважине.

Расчеты и опытно-промышленные работы на месторождениях показывают, что применение метода оказывается целесообразным уже при дальности возки песка 8—10 км с увеличением расстояния автотранспорта эффективность нового метода возрастает.

Основные преимущества нового метода заключаются в следующем:

- ликвидируются перевозки песка и гравия;
- сокращаются площади нарушаемой поверхности при разработке;
- для работы применимы серийные насосы и компрессоры с широким диапазоном рабочих характеристик;
- простота конструкции скважинных земснарядов позволяет изготавливать их на месте работ из труб любого сортамента;
- использование насосов и компрессоров с приводом от дизеля или дизель-генераторной станции обуславливает мобильность установки и возможность
- выполнения работ в труднодоступных местах без ЛЭП;
- возможно круглогодичное выполнение намывных работ с использованием грунтовых вод;
- метод целесообразно использовать для разработки небольших по масштабам погребенных россыпей цветных и редких металлов, а так же для взятия технологических проб руд в процессе поисков и разведки;
- обеспечивается вовлечение в разработку месторождений, отнесенных в настоящее время, по горно-геологическим условиям, к забалансовым;
- под новый способ разработки сейчас целесообразно вести поиски, разведку и постановку на баланс глубинных песчано-

гравийных месторождений, что повысит эффективность использования местных минеральных ресурсов;

- метод основан на обратном водоснабжении и сводит к минимуму вредное воздействие на природу и окружающую среду.

Опытные работы по добыче титаноциркониевых песков проводились на Малышевском титаноциркониевом месторождении (Верхнеднепровский горно-металлургический комбинат, Украина), Туганском (Томская область), Тарском (Омская область), Лукояновском (Нижегородская область) месторождениях и на руднике «Кулубара» (Югославия). Для этих месторождений характерны большая мощность продуктивного пласта 6—10 м, представленного глинистыми кварцевыми песками, и неустойчивые породы кровли из песчано-глинистых пород. Все месторождения обводнены. Глубина залегания пласта 35—50 м.

Работы проводились под руководством сотрудников кафедры геотехнологии руд МГРИ. Был применен гидроэлеваторный снаряд с соосным расположением труб: пульпоподъемной (108 мм) и водоподающей (168 мм). Вода подавалась от насосных установок ЦНС-180/425 или цементировочного агрегата типа ЦА-320.

Технология обработки предусматривала размыв камеры встречным забоем в секторе 180°, чтобы избежать образования провалов под буровым станком. Объем добычи на 1 скважину составил до 500 м³ при производительности до 30 м³/ч. В Югославии производительность по пескам достигала 60—80 м³/ч. Время выхода обрушения на поверхность составило 18—22 ч.

Опытные работы по добыче глубокозалегающих водонасыщенных песков, перекрытых глинистыми породами, проводились в 1973 г. Институтом оснований и фундаментов им. Герсеванова совместно с нефтегазодобывающим управлением Нижневартовскнефть. Гидроэлеватор диаметром 490 мм опускался в скважину диаметром 510 мм. При давлении 210 м вод. ст. развиваемым насосом, расходе 150 м³/ч и насадке 37 мм с глубины 23 м добывалось 40 м³ песка в ч. Тем самым была показана возможность разработки песков и гравия в суровых условиях Сибири и решения важной задачи обеспечения строительным материалом районов освоения новых нефтегазовых месторождений, где повсеместно на глубине 20—80 м имеются залежи песка мощностью 5—40 м.

В условиях безудержного роста тарифов на транспортировку грузов, остро встал вопрос обеспечения местными минеральными

ресурсами. В первую очередь это коснулось неметаллических полезных ископаемых — строительных материалов и др. Например, нефтяные предприятия Западной Сибири завозят до 150 млн м³ строительного песка в год. Уже в 1980—1982 гг. себестоимость строительного песка составляла 8—10 руб./м³, а его доставка 10 руб./м³, гравий завозили на водном транспорте за 1,5—2 тыс. км. В степной зоне Алтая песок и гравий завозят за 400—600 км по железным дорогам и автомобильным транспортом.

В 1970—1976 гг. ГИГХС и НИИКМА внесли предложение по отработке богатых железных руд Яковлевского месторождения способом СГД. Глубина залегания руд 700—900 м. Предлагалась камерная система отработки сверху-вниз, с закладкой камер инертным материалом. В тот период не было опыта СГД на глубине более 300 м. Предложение СГД было отклонено и в 1974 г. начато строительство шахтного комплекса. За 20 лет (на 1.01.1995 г.) капитальное вложение в Яковлевский подземный рудник составили 178 млн долл. США. Для пуска рудника мощностью 3 млн т богатой (63—65 % железа общего) руды потребуется еще не менее 100 млн долл. США. В то же время не решен вопрос подземной отработки рыхлых обводненных руд КМА, что так же требует проведения опытных работ. Готовится к выемке способом СГД блок с запасами 290 млн т богатой руды, который должен обеспечить рудник на длительный период.

Скважинное гидроопробование месторождений полезных ископаемых. Перспективно использование способа скважинной технологии для отработки россыпных месторождений и металлоносных кор выветривания, а также осадочных месторождений твердых полезных ископаемых.

В особом ряду стоят месторождения титаноциркониевых руд различного возраста, залегающими на глубине более 20 м, в сложных горно-геологических условиях.

На Малышевском месторождении еще в 1980 г. МГРИ и Гиредмет приступили к опытно-методическим работам по СГД титаноциркониевых песков полтавской свиты. Сравнение анализов проб отобранных из керна и карты намыва, показало реальную возможность самообогащения руд в процессе добычи.

Содержание тяжелой фракции на карте намыва увеличилось почти в 2 раза, содержание глинистых частиц уменьшилось почти в 8,5 раз. Необходимо отметить, что именно удаление глинистой составляющей является главной проблемой обогащения руды.

На Туганском месторождении (Кусковско-Ширяевском участке) для проведения работ по отбору большой технологической пробы прошли 6 добычных скважин станками УРБ-3. Использовались насос НБ-32 и компрессор ДК-9. Скважины обсаживались трубами диаметра 146 мм, пульпоподъемная колонна и тела диаметр 127 мм. Глубина добычи 25—40 м, мощность рудоносного горизонта до 10—12 м. В кровле залегают линзы песчаника мощностью 1,5—3,0 м, которые сыграли благоприятную роль при СГД: проседание пород кровли происходило постепенно в течение 3-х месяцев, глубина воронки составляла 1,5—3,0 м, радиус — 3,0—3,5 м. Всего было добыто, как и планировалось около 1000 м³ рудных песков. Работа проводилась зимой при температуре -10—-19°С, что позволило обеспечить вывоз пробы по болотной местности. Максимальная добыча из одной скважины составила около 200 м³. Радиус размыва 4,5—5,0 м. Отношение Т:Ж — 1:2—1:10 (производительность колебалась от 4 м³/ч до 25 м³/ч. Содержание глины уменьшилось с 14,4 % (в недрах) до 8,1 % на карте намыва, содержание тяжелой фракции увеличилось на 50 %. Институтом «Гиредмет» был составлен ТЭД промышленного освоения Туганского месторождения. На Кусковско-Ширяевском месторождении из 190 млн м³ рудных песков в контур карьера попало 120 млн м³. При средней мощности пород вскрыши 20 м и добыче в карьере 4 млн м³ рудных песков в год их себестоимость составила 13 долл. США/м³. Комплекс СГД был запроектирован на добычу песков с глубины 60 м (за пределами карьера) в объеме 1 млн м³ в год при себестоимости добычи 6 долл. США/м³. Был сделан вывод о целесообразности добычи 3 млн м³ рудных песков в год, в т.ч. в карьере 2 млн м³ и комплексом СГД — 1 млн м³. Это привело к уменьшению капитальных вложений, увеличению прибыли и сокращению срока окупаемости капитальных затрат до приемлемых величин. Однако из-за отсутствия финансирования к строительству предприятия еще не приступали.

На Георгиевском месторождении, расположенном в 30 км от Туганского, опытные работы по СГД проведены в 2 скважинах на глубине 120—140 м. Получены положительные результаты, при производительности 15—20 м³/ч, В результате СГД произошло увеличение содержания тяжелой фракции за счет смыва глинистой составляющей рудных песков. Ввиду небольшого объема добычи около 200 м³ песков из скважины и значительной глубины (больше 100 м), в течение 6 месяцев провалов в породах кровли не отмечалось.

На Лукояновском титаноциркониевом месторождении опытные работы способом СГД проведены в 3 скважинах на глубине 20—25 м. Кровля представлена глинистыми песками через 18—24 ч после завершения добычи образовались воронки проседания глубиной 2,5—3,0 м и радиусом 3,5—4,0 м. Достигнутая производительность 20—25 м³/час твердого сохранялась в течение 2—3 ч чистой работы. На карте намыва уменьшилось содержание глинистой составляющей песков и увеличилось содержание тяжелой фракции в 1,5—2,0 раза, что чрезвычайно важно, т.к. Лукояновское месторождение является самым богатым в России по циркону (20—28 кг/м³). Из 200 млн м³ рудных песков только 30—35 млн м³ могут быть обработаны открытым способом (карьер при мощности пород вскрыши до 20 м). Для освоения Лукояновского месторождения создано АО «Геостар». Выполнены ТЭО и проект освоения месторождения: строительство карьера с обогащательной фабрикой полного цикла стоит 80 млн долл. США. При объеме годовой добычи 1,4 млн м³ песков их себестоимость определена в 6 долл./м³. Комплекс СГД мощностью 1 млн м³ рудных песков будет стоить 6 млн долл., (глубина добычи 40—60 м). Планируется начать строительство карьера 1-ой очереди на 400 тыс. м³ и комплекса СГД на 150 тыс. м³ рудных песков.

Западно-Сибирская низменность является уникальной титаноциркониевой провинцией, особенным развитием такие россыпи пользуются в её восточном (Георгиевское и Туганское месторождения), южном (Тарская, Борисовская и Павлоградская россыпи) и северном обрамлении (Нижнеобские россыпи). Западное обрамление характеризуется развитием относительно бедных песков (Масловская площадь и др.), но в Предуралье отмечаются высокие содержания минералов титана и циркона в энергетических углях и др. осадочных образованиях.

Тарская россыпь выявлена в процессе геологического картирования масштаба 1:200 000 поисковыми скважинами в бассейне реки Тары. Рудоносные пески выявлены на её правом и левом берегах на глубине 40—80 м. Их прогнозные ресурсы достигают 2 млрд м³. Содержание рудных минералов варьирует в широких пределах, но на мощность 1,5—2 м достигает очень высоких значений: 120—210 кг/м³ ильменита, 25—65 кг/м³ циркона, 10—20 кг/м³ рутила с лейкоксенном. Такие богатые пески образуют линзы в рудоносном горизонте мощностью 7—13 м, характеризующимся рядовыми содержаниями минералов: 15—30 кг/м³ ильменита, 5—15 кг/м³ циркона, 3—5 кг/м³ рутила.

Опытные работы по СГД рудных песков Тарской россыпи проведены на Правобережном и Левобережном участках в непосредственной близости от районного центра н.б. Тары. После получения положительных результатов (откачки из двух скважин глубиной 40—60 м) было создано АО «Цирконгеология» для скважинной добычи рудных песков Левобережного участка. На площади 1 км² пройдено 47 разведочных и 26 добычных скважин (последние по сетке 12,5x25 м). Глубина 40 м, мощность рудоносного горизонта 13 м, богатых песков 1,5—3,0 м. Диаметр пульпоподающей колонны 219 мм

Аналогичные работы по СГД песков были организованы ЦНИИгеолнерудом в Татарстане, где балансовые запасы песков категории А+В+С1+С2 составляют 40 млн м³. При глубине СГД 30 м и мощности пласта песков 50 м была достигнута производительность 30 м³/ч твердого (60 м³/ч пульпы). Просадки пород в кровле не отмечены.

На юго-западе Брянской области была выявлена Унеча-Крапивинская зона фосфатсодержащих пород протяженностью около 120 км. На севере фосфоритоносные пласты выходят под наносы мощностью 4—5 м, на юге на границе с Украиной погружаются на 60—80 м и больше.

В 1989—1991 гг. были организованы опытные работы по СГД фосфатсодержащих песков, залегающих на глубине 51—63 м (содержание пятиоксида фосфора от 2—5 до 7—12 %). В интервале 58—53 м (5 м) залегает пласт белого мела обводненного. Пульповыводящая труба имела диаметр 219 мм, скважинный гидроагрегат — 168 мм. Добыча фосфатсодержащих пород велась снизу вверх. Кроме фосфора пески содержат небольшое количество ильменита, рутила, лейкоксена и циркона. Был использован насос НБ-32 и компрессор ДК-9, которые обеспечили производительность по пульпе 40—45 м³/час при Т:Ж — 1:6—10. Всего было добыто 80 т рудных песков, на карте намыва содержание полезных минералов было на 20 % больше, чем в недрах. В настоящее время месторождение разведано, готовятся материалы на конкурс.

В 1993 г. в Архангельской области началось проектирование и строительство комплекса СГД для выполнения опытно-методических работ на кимберлитовой трубке «Снегурочка» с забалансовыми запасами алмазов.

В октябре 1995 г. произошел физический пуск комплекса СГД; добыто 3 т кимберлитов, на карту намыва поступали обломки кимберлитов размером до 5х3х1 см, требующие дробления и обогащения.

Опытный участок включал в себя одну добычную скважину с пульпоподающей трубой диаметром 219 мм и 5 вспомогательных скважин диаметром 112 мм. Опытно-методический комплекс должен был решить проблему рационального способа разработки кимберлитовых трубок Архангельского региона, однако в связи со сложностями финансирования, работы были остановлены.

На трубке «Архангельская» была испытана технология добычи алмазов через добычные скважины диаметром 450 мм. Но в связи с нерешенностью проблем управления горным давлением эти работы были остановлены.

Оценки показывают, что опытно-промышленное предприятие СГД мощностью 100 тыс. карат алмазов в год будет стоить 2,5 млн долл. США, при этом себестоимость 1 карата ожидается около 10 долл. На опытно-промышленное предприятие СГД мощностью 500 тыс. карат алмазов должно быть израсходовано 6,25—7,5 млн долл. США, себестоимость добычи 1 карата ожидается в пределах 5—6 долл. Это в 2,5—4 раза дешевле чем себестоимость при шахтном способе (с глубины 500 м).

В 1995 г. были выданы лицензии на поиски кимберлитов в Псковской, Новгородской, Тверской областях (с последующей добычей алмазоносных кимберлитов — в случае успеха поисковых работ). По данным геофизических и буровых работ кимберлиты (верхняя кромка) залегают на глубине 200—300 м и более. Наиболее приемлемый способ их разработки — скважинная гидродобыча.

Значительный экономический эффект может быть получен при использовании скважинной технологии добычи при отработке месторождений золота — россыпных и металлоносных кор выветривания (химических и физических). Проведены опытные работы по СГД золотоносных россыпей в Республике Бурятия и в Якутии (россыпь Усть-Куйга). На месторождении Усть-Куйга глубина залегания золотоносного пласта 40 м, мощность 2 м, геологическое содержание золота по данным разведки 4,8 г/м³. В результате выполненных НПЦ «Геотехнология» опытных работ по СГД была поднята большая технологическая проба песков со средним содержанием золота 6 г/м³.

В 1975—1985 гг. на п/о Мангышлак построено опытное предприятие СГД по разработке редкометального месторождения (Прикаспийский ГМК). Рудный пласт мощностью 0,8—2 м, залегающий на глубине 90—212 м, представлен плотными глинами с костным детритом, с пределом прочности на сжатие 0,4 МПа (III категория по буримости). Был разработан комплекс оборудования: диаметр добычных скважин 320 мм, диаметр скважинного гидродобычного снаряда 273 мм. Использовался насос СНС-380/420. Вода подавалась под давлением 4 МПа при расходе 300 м³/час. Производительность по твердому 10—12 м³/ч (рис. 1.28).

В Республике Коми сотрудниками МГРИ проведены опытные работы по СГД на месторождении «Ичет-Ю» (золото, алмазы, редкие металлы), нерентабельном для отработки традиционным способом (глубина залегания до 100 м, мощность пласта 0,2—2 м, мелкогалечниковые конгломераты, гравелиты, кварцевые песчаники). Производительность скважины 2,8 т/ч, радиус размыва 3 м. На месторождении Ичет-10 получен опыт разрушения водяной струей относительно крепких пород.

На Високовском месторождении бокситов в Белгородской области по результатам опытных работ МГРИ были получены материалы о возможности использования СГД даже в блоках бокситов очень высокой прочности на глубине 500—600 м.

Планируется создать опытный участок СГД по добыче бокситов с развитием его в промышленное предприятие мощностью 1,5—2 млн т бокситов в год.



Рис. 1.28. Добычный аппарат при добыче урано-фосфорных руд способом СГД с глубины 100 м

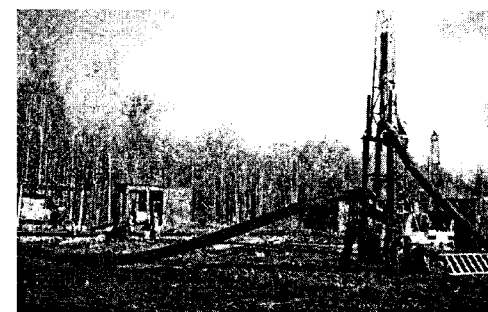


Рис. 1.29. Верхнекамский фосфоритный рудник СГД

Рассматривается вопрос организации комплекса СГД по добыче белых бокситов в Архангельской области; мощность рудника 400 тыс. т в год, что полностью удовлетворит потребности России в этом виде огнеупорного сырья.

Силами сотрудников НПЦ «Геотехнология» в Оренбургской области опытные работы по СГД были проведены на Ивановском месторождении металлоносных асфальтитов. Глубина залегания асфальтитов 425—450 м, мощность 5—7 м. Рудное тело залегает в галите, под мощной толщей доломитов. Плотность асфальтитов 0,95 г/см³. Интерес представляют содержащиеся в асфальтите ванадий, никель, сурьма, молибден, золото. Выполненное институтом ВНИИГРИ ТЭО показало высокую эффективность месторождений асфальтитов при утилизации легких и тяжелых углеводородов, ванадия, никеля, золота. Пройдены 2 добычные скважины, диаметр пульпоподающей колонны 219 мм. Был сконструирован специальный гидроагрегат. Работа гидроагрегата отличалась тем, что асфальтиты под действием горного давления сами текли в скважину. Объем технологической пробы составил 500 т. Способом специального термоконтатного крекинга на Московском опытном заводе ВНИИНП: были получены продукты перегонки асфальтитов (бензин, мазут, печное топлив. и т.п.) и металлоносная зола («мягкий нож»), содержащая 12—37 % пятиоксида ванадия. ВНИИГРИ совместно с НИИ Чехословакии сконструирована установка ТКК стоимостью 4 млн долл. (мощностью 100 тыс. т асфальтита в год). В настоящее время бизнес план и предпроектные проработки переданы совместной российско-английской фирме, владеющей контрольным пакетом акции Орского НПЗ.

В 1990—1991 гг. по согласованию с Минуглепромом СССР проведены опытные работы по СГД бурых углей Орловского месторождения в Казахстане. На месторождении были пройдены 7 скважин глубиной 170 м (1 добычная с диаметром пульпоподающей трубы 219 мм и 6 вспомогательных диаметром 132 мм). Мощность опытного участка по углю 200 тыс. т. в год (заказ Кокчетавского облисполкома). На этом месторождении впервые в практике СГД был произведен взрыв (в основную и вспомогательные скважины было заложено 3960 кг взрывчатых материалов). В результате СГД получены пробы угля.

Начаты комплексы работ по гидродобыче фосфоритов Верхнекамского месторождения (рис. 1.29). Но и здесь работы по гидродобыче были остановлены из-за сложности реализации продукции и банкротства заказчика — ОАО «Вятский Фосфор».

Опытно-промышленные работы по добыче железных руд КМА. Проводились на глубине 400—1000 м, где выявлено свыше 65 млрд т богатых железных руд с содержанием железа 67—68 %. Запасы рыхлых руд, обладающих повышенной подвижностью, составляют 20—30 %, а руд, склонных к принудительному перемещению — 50—60 %. К наиболее перспективным для разработки способом СГД относятся крутопадающие структуры богатых железных руд мощностью 20—100 м [5, 29].

При проведении опытно-промышленных работ в комплекс СГД вошли: буровая установка БУ-75РЭ, компрессоры КПУ-16/100, СД10/100, ВП 305, ВП 16/70, буровые насосы НБ 365, БРН-1 и насосные бустеры БНИ БТ-БТНБ.

Было разработано нестандартное скважинное оборудование: оголовок скважинный, газожидкостной смеситель, воздухоотделитель и ряд скважинных добычных снарядов с различной конструкцией нижней части. Вода на размыв и приготовление пульпы подавалась по центральной трубе, а сжатый воздух через оголовок по межтрубному пространству между обсадной и пульпоподъемной колонной (рис. 1.30). За время проведения предварительных испытаний (979,5 ч) из интервала 615—702,7 м было поднято 10 939,5 т руды. Средняя производительность составила 11,2 т/ч. Наиболее эффективными в работе были снаряды типа «Гидромониторный-ПИ» (29,8 т/ч) и «Крот-ПИ» (36 т/ч). На стадии приемочных испытаний в течение 692 ч откачки с глубины 584—640 м было добыто 16 666,8 т руды при средней производительности 22,5 т/ч. Полученные результаты позволили основать АО «Гидроруда», которое проводит работы по созданию промышленной технологии СГД, а также осуществляет добычу и реализацию богатой железной руды.

В настоящее время начинается строительство двух рудников на Гостищевском и Разуменском месторождениях КМА.

Опытные работы по **скважинной гидродобыче золота из многолетнемерзлых россыпей** проводились на прииске Экспериментальный в 1986—1991 гг. (г. Сусуман, Магаданская область). Продуктивный пласт мощностью около 1 м представлен аллювиальными отложениями из гальки и мелких валунов с частичным проникновением золота в трещиноватые коренные породы — глинистые сланцы. Глубина залегания россыпи в районе опытных участков СГД 10 и 25 м.

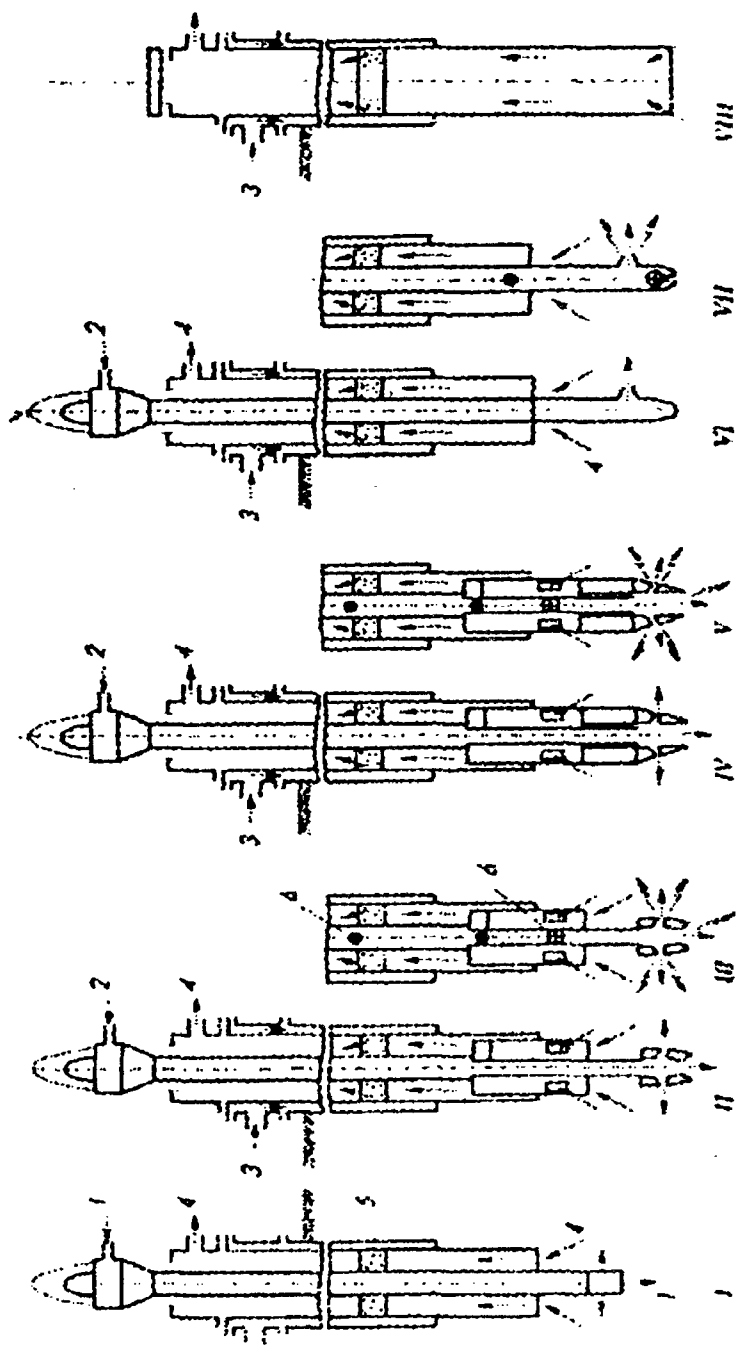


Рис. 1.30. Снаряды для скважинной гидрообработки железных руд КМА:

I — "Эрлифтный", II — "Крот-ПИ", III — "Крот-ПИ", IV — "Торпеда-ГОГ", V — "Торпеда", VI — "Гидромониторный", VII — "Гидромониторный", VIII — "Гидромониторный"; 1 — воздух, 2 — вода, 3 — газожидкостная смесь, 4 — пуля, 5 — смеситель эрлифта, 6 — шаровой клапан

В ходе проведения исследований были установлены следующие параметры процессов СГД. При расходе $250 \text{ м}^3/\text{ч}$ и давлении воды 2 МПа дальность размыва мерзлых песков незатопленной гидромониторной струей достигла 21,2 м при средней производительности по твердому 20—30 т/ч. Производительность по смыву разрушенных золотосодержащих крупнообломочных пород при тех же параметрах струи составила $100 \text{ м}^3/\text{ч}$, а дальность — 36 м. Зачистка с разрушением верхней золотосодержащей части сланцев для легкоразборного плотика обеспечивается на расстоянии до 26 м, для трудноразборного плотика — до 12 м.

Было испытано пульпоподъемное оборудование эрлифтного и гидроэлеваторного типа. Эрлифтный снаряд состоял из параллельно расположенных пульпоподъемной (219 мм), воздухоподающей и двух водоподающих труб с гидромониторным выводным стволом длиной 1,5 м в нижней части. Производительность эрлифта по гидросмеси составила $200 \text{ м}^3/\text{ч}$, по пескам — $15 \text{ м}^3/\text{ч}$. В поднимаемой пульпе содержались частицы золота до 2 мм. Максимальный размер поднятого эрлифтом мелкого валуна $140 \times 220 \text{ мм}$. При испытаниях происходило интенсивное оттаивание необсаженных стенок скважины, поэтому было отдано предпочтение гидроэлеваторному типу снаряда. Созданный скважинный секционный гидроэлеватор с диаметром камеры смешения 180—200 мм устойчиво работал при содержании негабаритного для подъема крупнообломочного материала до 10—15%. Конструкция предусматривала периодическое удаление из зоны всасывания накапливающегося крупнообломочного материала. При расходе воды через гидроэлеваторную насадку $800 \text{ м}^3/\text{ч}$ в ходе проведения стендовых испытаний производительность гидроэлеватора по твердому достигала $100—120 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для обеспечения максимального извлечения золота разработан вариант панельной системы разработки с применением технологии выемки попутным забоем. Гидромониторные скважины располагались по углам квадрата на расстоянии 15 м друг от друга, а в центре квадрата находилась гидроэлеваторная скважина. Объем поднимаемых песков через гидроэлеваторную скважину $200—250 \text{ м}^3$. Размыв производился скважинными секционными гидромониторами, установленными на передвижных манипуляторах с электроприводом, обеспечивающих выведение ствола гидромонитора из вертикального положения в горизонтальное, перемещение снаряда

в скважине на высоту 1,5 м и его круговое вращение. На рис. 1.31 и 1.32 показано опытно-добычное оборудование, разработанное сотрудниками ГИГХСа. История развития технологии скважинной гидродобычи фосфоритов на Кингисеппском месторождении началась с опытного участка, на котором фосфоритовые пески залежали на глубине около 20 м. С поверхности земли бурились две скважины диаметром 350 мм на расстоянии 0,8 м друг от друга. В одной скважине устанавливался эрлифтный снаряд, состоящий из пульпоподъемной трубы, внутри которой располагались воздухоподводящая труба для подачи воздуха в эрлифт и водоподводящая труба с насадкой на конце для гидромониторного взвешивания песка в зоне грунтозабора (рис. 1.32). В соседней скважине устанавливался скважинный гидромониторный снаряд, состоящий из центральной водоподводящей трубы диаметром 89 мм и внешней трубы диаметром 168 мм. На конце водоподающей трубы был шарнирно установлен гидромониторный ствол телескопический или сменный, соединенный шарнирно с помощью тяги с внешней трубой. При перемещении внутренней водоподающей трубы гидромониторный ствол выводился из вертикального в горизонтальное положение.

На опытно-промышленном участке глубина залегания фосфоритового пласта увеличилась до 25 м. С учетом сильной заболоченности поверхности и для сокращения затрат на бурение был разработан односкважинный гидродобычный агрегат на базе крана в болотном исполнении (рис. 1.31). Высота стрелы — 26 м позволяла опускать и извлекать из скважины гидродобычный снаряд, состоящий из внешней пульпоподъемной трубы диаметром 273 мм, внутри которой установлены воздухоподводящая труба диаметром 76 мм и водоподающая труба диаметром 108 мм со сменным гидромониторным стволом на конце. Отработка камеры начиналась стволом длиной 0,5 м, который потом заменялся на стволы длиной 1,5 и 3 м.

Для разработки глубокозалегающего пласта фосфоритовых песков (40 м) был создан несамоходный секционный односкважинный гидродобычный агрегат на базе землесосной установки (рис. 1.33). Агрегат перемещался с помощью бульдозера. Скважинный снаряд разделен на секции по 8 м длиной, которые стыковались с помощью быстроразъемного соединения и герметизировались резиновыми уплотнительными кольцами.

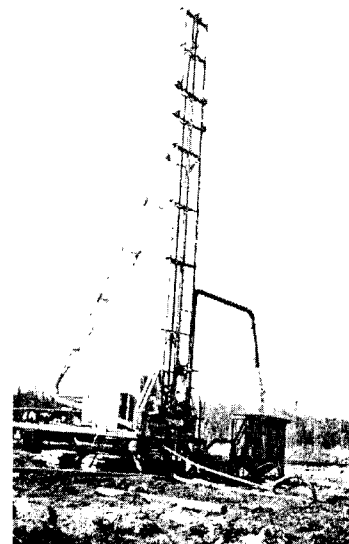


Рис. 1.31. Самоходный односкважинный гидродобычный агрегат. Кингисеппское месторождение фосфоритов

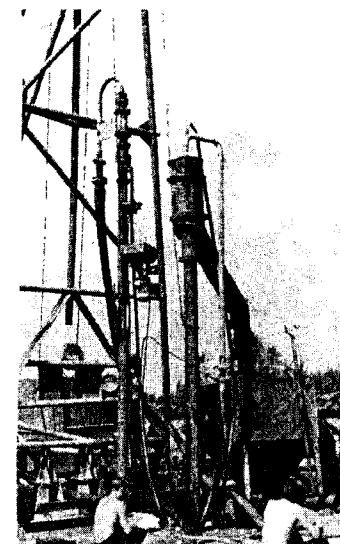


Рис. 1.32. Двухскважинный гидромониторно-эрлифтный агрегат. Кингисеппское месторождение фосфоритов

Расход воды при работе гидродобычного агрегата составлял $300 \text{ м}^3/\text{ч}$ при давлении 2,4—10 МПа. Расход воздуха — $20\text{—}40 \text{ м}^3/\text{мин}$. Производительность по гидросмеси $250\text{—}300 \text{ м}^3/\text{ч}$, по песку — $50\text{—}80 \text{ т/ч}$.

Опытные работы по скважинной гидродобыче касситеритовых песков из мощных многолетнемерзлых россыпей проводились на Депутатском ГОКе (Якутия), а испытания оборудования — на прииске «Экспериментальный» и на карьере «Мамонт» Депутатского ГОКа, где касситеритовые пески откачивались эрлифтной установкой с глубины 15 м.

Был разработан и испытан способ отработки мощных мерзлых россыпей на основе водно-теплового оттаивания продуктивного пласта с изоляцией кровли воздухом, накапливающимся за обсадной колонной и эрлифтным подъемом гидросмеси. В ходе испытаний расход воды на оттаивание пласта изменялся от $20\text{—}30 \text{ м}^3/\text{м}^3$ (в начале размыва) до $10 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

Опытные работы по комбинированному подземному способу и СГД проводились на одной из россыпных шахт Иркутской области. Из подземной выработки, пройденной по коренным породам ниже продуктивного пласта, бурились восстающие скважины



Рис. 1.33. Односкважинный секционный гидродобычный агрегат на базе землесосной установки

диаметром 76 мм. Одни из них были оборудованы гидромониторами с горизонтальными насадками, а другие служили для выдачи золотосодержащей гидросмеси в зумпф землесосной установки. Пески размывались при давлении 0,6—0,7 МПа. За 20 часов работы было добыто 25 м³ золотосодержащих песков. Удельный расход воды при подрезке пласта составил 42 м³/м³, а при очистной выемке — 20,6 м³/м³.

Комбинированный открытый способ и СГД был опробован на полигоне ручья Куранах прииска

«Экспериментальный». В бортах ранее отработанного карьера, перекрытых вскрышными породами, на глубине 25 м оставались запасы мерзлых золотосодержащих песков. Для их извлечения на борту карьера были пробурены вертикальные скважины, в которых монтировался скважинный секционный гидромонитор. Первоначально на дне карьера по продуктивному пласту обычным переставным гидромонитором была пройдена сбойка со скважинным гидромонитором. Затем производился размыв продуктивного пласта с выгонкой песков в отработанное пространство карьера скважинным гидромонитором при давлении 0,8—1,4 МПа и расходе 200—250 м³/ч. Производительность по размыву составила 10—15 м³/ч при температуре воды 6—10°С. Породы продуктивного пласта, содержащие большое количество глины, после размыва были полностью дезинтегрированы. При мощности разрабатываемого пласта 2 м было добыто и размещено в карьере около 2 тыс. м³ золотосодержащих песков.

Технология создания подземных резервуаров в мерзлых осадочных породах разработана сотрудниками ООО «Подземгазпром». Подземные резервуары для хранения сжиженных и жидких углеводородов были сооружены на Мастахском газовом промысле в Центральной Якутии, на Жалтейской (Якутской) нефтебазе и на Мессояхском газовом промысле в районе г. Норильска. В период 1979—1983 гг. было построено подземное хранилище газового конденсата суммарной вместимостью 9 тыс. м³, состоящее из трех подземных резервуаров объемом 800, 4500 и 3800 м³.

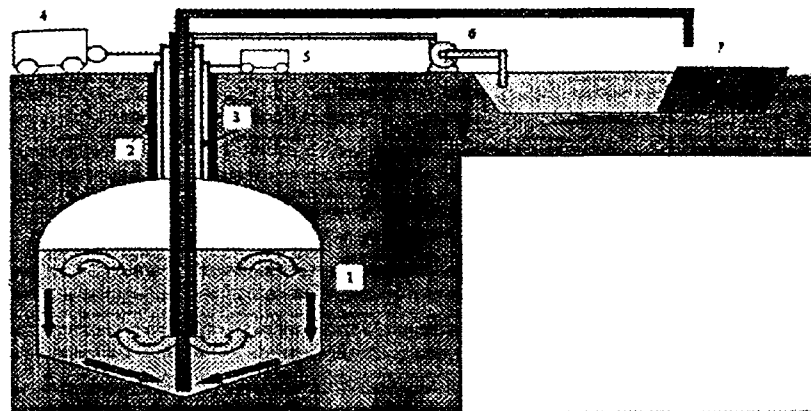


Рис. 1.34. Технологическая схема сооружения подземного резервуара в мерзлых осадочных породах: 1 — подземный резервуар, 2 — цементное кольцо, 3 — охлаждающая рубашка, 4 — компрессор, 5 — холодильный агрегат, 6 — насосная станция, 7 — отвал намывтой породы

Технологическая схема сооружения резервуара в мерзлых осадочных породах показана на рис. 1.34. С поверхности земли бурится скважина. В незакрепленный интервал скважины нагнетают воду по межтрубью рабочих колонн с расходом 300 м³/ч, а по центральной колонне вытесняют на поверхность пульпу — смесь воды с оттаявшей песчаной породой. Процесс строительства ведется под давлением, поэтому герметичность выработки обеспечивают искусственным охлаждением обсадной колонны специальной конструкции, а уровень воды в выработке поддерживают ниже башмака обсадной колонны путем закачки в нее сжатого воздуха или природного газа. Уровень раздела фаз газ-вода контролируют специальным датчиком и регулируют подачей или отбором газа. Оптимальная температура воды 7—10°С. Понижение ее до 2°С практически прекращает процесс оттаивания, а повышение выше 10°С увеличивает затраты на охлаждение колонны.

Технология строительства подземного резервуара предусматривает первоначально создание в нижней части конического гидроруба объемом до 5 % проектного объема резервуара, после чего примерно за 500 часов непрерывной работы формируют осесимметричную выработку — емкость с коническим или параболическим сводом диаметром и высотой порядка 20 м и вместимостью 4—5 тыс. м³.

Оборудование, используемое для сооружения резервуаров: буровой станок типа А-50 или «Бакинец-2М», компрессор типа НВ-10 (ДК-9), насосный агрегат Д320/60 и аммиачная пароконпрессорная холодильная машина ХМ-22/П.

Интенсификация работы скважин водоснабжения, газо- и нефтедобычи с использованием скважинной гидротехнологии. Технические средства скважинной гидротехнологии, обеспечивают проходку подземных полостей и сооружение искусственных перекрытий, что позволяет создать скважины с увеличенной приемной зоной. Так, при неустойчивых породах в кровле и достаточной устойчивости пород самого водовмещающего пласта, водоприемной полости придают вид вертикального цилиндра, заполняемого для предотвращения деформации стенок крупнозернистым песком и гравием. При неустойчивых породах кровли и неустойчивых породах водовмещающего пласта после завершения бурения скважины в нее опускается колонна труб, перфорированная в интервале от кровли до почвы пласта. После спуска в нее скважинного снаряда начинается размыв пород за стенками перфорированной трубы с образованием цилиндрической полости, заполняемой переотложенными крупными фракциями водовмещающего пласта. При отсутствии таких фракций используется крупнозернистый кварцевый песок, подаваемый с поверхности.

При устойчивых породах кровли и неустойчивых водовмещающих породах водоприемная полость выполняется в виде перевернутого конуса с углом заложения боковой поверхности меньше или равной углу естественного откоса водовмещающих пород под водой.

Все виды приведенных конструкций скважин с увеличенной водоприемной зоной прошли испытания в регионах республики Колумбия и позволили поднять дебит не менее чем в 2—3 раза, а так же повысить качество откачиваемой воды за счет снижения содержания твердых взвесей.

Использование технологии и технических средств скважинной гидротехнологии для восстановления газодобывочных скважин было осуществлено НПЦ «Геотехнология» в США в угольном бассейне Сан Хуан, штат Нью-Мексико. Угольный пласт мощностью около 1 м залегает на глубине 1 км и содержит в больших объемах метан. За счет создания подземных полостей в забойной зоне пяти газодо-

бывочных скважин их производительность возросла в 4—6 раз по сравнению с первоначальной.

Комплект оборудования, применяемого для работ по созданию коллекторов, состоял из поршневого высоконапорного насоса PZ-8 фирмы Гарднер Денвер, используемого при бурении нефтегазовых скважин, и передвижной компрессорной станции. В забое скважины размещали снаряд скважинной гидродобычи и подачей высоконапорной воды разрушали горный массив на горизонте газоносности, выполняя в нем радиальные выработки на глубину до 3 м по высоте, равной мощности газоносного пласта. Средний диаметр каверны — 5 м.

Опытные работы по технологии скважинной гидродобычи за рубежом.

В США (шт. Вашингтон) в 1975—78 гг. были проведены опытные работы по СГД коксующихся углей из крутопадающего пласта с глубины 26 м. Добыча велась через скважины диаметром 300 мм, расположенные на расстоянии 20 м друг от друга. Уголь разрушался гидромониторной струей при давлении 10—100 МПа.

В США также проводились работы по добыче через скважины битуминозных углей. Глубина залегания — 24,4 м, мощность пласта 0,35 м, радиус добычной камеры — 4,6 м, при давлении воды 31,5 МПа средняя производительность составила 8 т/ч, а объем добычи с 1 м пласта — 9,5 т/м. В Австралии проводились работы по скважинной гидродобыче золота из обводненных россыпей. Глубина залегания 25—92 м. Добычной снаряд гидроэлеваторного типа был оборудован шарошечным долотом для бурения скважин и имел 3 насадки диаметром 45 мм для размыва пласта. Давление подаваемой на размыв воды 1,75—2,1 МПа. Размыв велся с образованием цилиндрической камеры диаметром 6 м. Производительность снаряда по пескам 11,5 м³/ч.

1.5. Научные и инженерные задачи применения СГД

Для широкого промышленного внедрения метода многие аспекты проблемы СГД требуют углубленных теоретических, лабораторных, промышленных исследований, а так же и проектно-конструкторских разработок. Основные задачи исследований в области СГД и методы их решения представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3

**Задачи исследований в области скважинной гидродобычи
и методы их решения**

Задачи исследований	Методы их решения
I. Физико-геологические	
Разработка методики разведки месторождения для скважинной добычи	Анализ результатов промышленной добычи и существующих методов разведки
Определение сырьевой базы скважинной гидродобычи	Разработка критериев для включения руды месторождения в балансовые запасы Разработка способов и средств опробования, рыхлых руд через скважины Анализ деятельности промышленного предприятия СГД Сопоставление критериев СГД с геологическими условиями известных месторождений
II. Технологические.	
1. Вскрытие и подготовка месторождения	
Выбор способа и средств бурения добычных скважин для условий конкретных месторождений	Проектные разработки
Выбор рациональной схемы, способов и средств прокладки сети коммуникаций для подачи воды, воздуха, пульпы, электроэнергии	Технологические расчеты
Выбор рациональной схемы участкового водоснабжения, способов восполнения потерь воды и распределения по добычным агрегатам	
2. Технология выемки	
Выбор рациональной схемы отработки камеры (встречным или попутным забоем, слоями снизу—вверх или сверху—вниз и т.д.)	Стендовые, лабораторные и промышленные исследования
Разработка рациональных способов разрушения рудного массива, доставки к устью скважины и подъема руды на поверхность	То же
Изыскание способов интенсификации технологических процессов добычи	Стендовые, лабораторные и промышленные исследования

Продолжение табл. 1.3

Задачи исследований	Методы их решения
3. Управление горным давлением	
Исследование прочностных свойств (несущей способности) слабосцементированных, рыхлых пород в качестве целика	Аналитические исследования, моделирование, натурные наблюдения, анализ данных промышленной эксплуатации
Исследование и определение безопасного пролета покрывающих пород при различных конфигурациях добычной камеры	
Исследование сдвижения покрывающих пород при различных системах разработки	
Изучение влияния воды на проявление горного давления.	
Исследование различных аспектов поддержания кровли выработанных камер гидравлической закладкой, выбор материала закладки и отвердителя, технологии и оборудования закладки	
4. Система разработки	
Выбор системы разработки для конкретных горно-геологических условий	Аналитические исследования. Моделирование. Промышленные исследования
5. Переработка добытой руды	
Технология и средства переработки горной масс	Лабораторные, стендовые и промышленные испытания
Изыскание способа и средств для попутного обогащения добытой руды непосредственно около добычной скважины	Полевые исследования режимов подземных вод
III. Конструкторские	
Разработка гидродобычного агрегата включающего скважинное оборудование, подземно-транспортные средства и систему мониторинга и управления добычным комплексом	Изготовление макета, модельного и опытного экземпляров, стендовые и натурные испытания. Разработка документации
IV. Технико-экономические	
Разработка технико-экономической модели скважинной гидродобычи	Анализ результатов экспериментальных и промышленных испытаний
Технико-экономическое обоснование конструкции добычной скважины	Аналитические исследования, анализ данных промышленной добычи и экономические расчеты
Определение рациональной области применения скважинной гидродобычи	Обобщение результатов промышленной эксплуатации

Задачи исследований	Методы их решения
V. Автоматизация и управление	
Выбор минимально необходимого количества параметров контроля, точек их отбора и частоты контроля Выбор средств КИП и автоматики. Разработка алгоритма сбора и обработки первичной информации и управляющих воздействий	Научно-исследовательские, конструкторские и проектные работы
VI. Охрана окружающей среды и безопасность работ	
Оценка качества среды Регулирование качества среды Изучение влияние скважинной гидродобычи на режим и состав подземных вод, состояние поверхности и воздушной среды Оценка извлечения полезных ископаемых Разработка инструкций по ведению безопасной технологии работ	Определение источников выбросов Совершенствование методов разработки и утилизации отходов, рекультивация Лабораторные и полевые исследования Анализ состава проб воды, грунта и воздуха. Подсчет запасов, разработка методов повышения извлечения Разработка методов наблюдения за поверхностью в местах выемки полезных ископаемых. Разработка рабочих инструкций

Проведенный анализ патентной и технической литературы показал, что в последние годы интерес к методу СГД значительно возрос. Однако для практического использования метода в каждом конкретном случае требуется проведение всесторонних исследований физико-геологических условий конкретных месторождений, разработка технологических приемов добычи и конструкций скважинного оборудования, а также изучение экономических и экологических аспектов метода. В приложении приведен список авторских свидетельств и патентов по СГД.

1.6. Методология прогнозирования параметров СГД

СГД является одним из объектов горного производства и включает в себя собственно технологический комплекс предприятия, ландшафт, залежи полезных ископаемых и вмещающих их пород, окружающие водные и воздушный бассейны, прочие природные и

техногенные факторы, определяющие условия и режимы разработки месторождения в пределах горного и земельного отводов.

Как объекты проектирования и управления горные предприятия относятся к высшей категории сложности. Они представляют собой многофакторные природно-технологические комплексы, развивающиеся в пространстве в течение длительного периода времени (нескольких десятилетий), и характеризуются большим объемом информации различного вида:

- геологической, включающей элементы месторождения и технологии горных работ, рассматриваемых в трехмерном пространстве горного отвода;
- экологической, отражающей взаимодействие технологических процессов горного производства и природной среды — недр, поверхности Земли, окружающей атмосферы, водных ресурсов;
- технологической и технической, включающей параметры и качественные характеристики элементов горных выработок, горно-транспортного оборудования и технологических процессов;
- экономической, содержащей показатели и оценки расхода ресурсов, показатели ценности продукции, интенсивности и эффективности производства работ и др.

Столь большое количество влияющих факторов обусловлено также разнообразием и изменчивостью горно-геологических условий, вариациями параметров СГД и непрерывным перемещением фронтов горных выработок.

Положение осложняется так же тем, что отсутствует возможность прямого измерения показателей процессов, происходящих под землей, а сведения о многих факторах носят неполный и приближенный характер. Некоторая важная информация или неизвестна, или недостоверна, или носит качественный характер.

Иногда бывает трудно выделить из большого количества факторов основные, определяющие показатели технологии СГД в конкретных условиях.

Таким образом, комплекс «рудник СГД — природная среда» представляет собой сложную систему, создание которого требует следованию методологии изучения таких систем. Она включает в себя: предварительное изучение объекта, выдвижение и проверка первоначальных гипотез о свойствах объекта и его физической природе, поиск прототипов и аналогов, выделение существенных характеристик явления, уточнение и выбор вида моделирования,

анализ возможности моделирования, конструирование модели, проведение моделирования, сопоставление результатов моделирования с данными об объекте, проверка адекватности и корректировка модели. Затем осуществляется новый цикл моделирования, и этот процесс последовательных приближений заканчивается, когда имеющаяся информация о реальном объекте исследования не будет соответствовать той, что получена при моделировании, с заданной точностью и надежностью. Моделирование применяется в тех случаях, когда натурный эксперимент экономически дорог, технически затруднен или вообще невозможен, т.е. в подавляющем количестве практических задач.

После получения информации в результате эксперимента на моделях возникает не простой вопрос оценки адекватности (соответствия) модели, а в случае сложных явлений — разных моделей и объекта. Универсальным и единственным критерием сравнения является критерий практики, т.е. согласования результатов наблюдений с результатами моделирования в пределах точности наблюдений. Эта проблема решается для каждого конкретного случая в зависимости от вида и целей моделирования.

Полученная в результате применения данной методики модель предприятия бывает реализована, как правило, в виде программы на компьютере, а это дает возможность изучать эту модель с помощью вычислительно-логических алгоритмов. Этот метод познания сочетает многие достоинства, как теории, так и эксперимента. Работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью дает возможность безопасно, относительно быстро и без существенных затрат исследовать его свойства и поведение в любых мыслимых ситуациях.

Естественно, при этом можно постоянно улучшать и уточнять, так называемый, «электронный эквивалент» объекта.

При этом следует иметь в виду, что из-за неполноты и ненадежности информации, заложенной в модели на стадии проектирования и строительства предприятия, по мере эксплуатации рудника СГД могут появляться существенные отклонения параметров и показателей от проектных. Поэтому методология обучения и совершенствования модели должна быть продолжена с учетом данных эксплуатации. В отдельных случаях может оказаться необходимым создание новой управляющей модели управления предприятием СГД.

ГЛАВА II

2. ФИЗИКО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СПОСОБОМ СГД

Рациональная разработка любого месторождения невозможна без детального изучения его геологического строения и гидрогеологических условий, т.е. без обстоятельных знаний о его физико-геологических характеристиках. Кроме того, для оценки перспектив применения метода СГД необходимо знать факторы, определяющие возможность его использования для разработки месторождения.

Решающая роль в определении характеристик месторождения принадлежит широко и целеустремленно поставленным геологическим и гидрогеологическим исследованиям, которые предшествуют проектированию*. Знание физико-геологических констант пласта обеспечит возможность расчетного определения параметров технологии и конструкции добычного оборудования. Не всякое месторождение можно разрабатывать методом СГД, и именно установление физико-геологических его характеристик дает возможность определить граничные условия использования метода.

2.1. Факторы, определяющие возможность применения способа СГД

Успех разработки месторождения методом СГД зависит, прежде всего, от физико-геологических условий, главными из которых являются экономичность перевода руды в подвижное состояние и возможность управления толщиной налегающих пород. При этом мощность пласта, глубина его залегания и ценность руды должны обеспечить рентабельность добычи.

В данном случае геотехнологическим свойством руды, которое обеспечит экономичность перевода его в подвижное состояние, является прочность пород рудного пласта. Именно этот фактор, в ос-

* Более подробно см. Аренс В.Ж., Гайдин А.М. Геологогидрогеологические основы геотехнологических методов добычи полезных ископаемых. — М.: «Недра», 1978.

новном, определяет параметры технологии и оборудования СГД. С этой точки зрения, можно выделить следующие три типа месторождений: 1) рудная толща представлена рыхлыми породами, имеющими плавунные свойства (наиболее благоприятные для СГД); 2) для разрушения рудного пласта требуется гидромеханическое воздействие; 3) для разработки необходимы предварительные (механический, биологический, химический) или другие специальные способы ослабления прочности пород рудной толщи.

Существенно влияют на параметры технологии СГД мощность и прочность покрывающих пород. Мощные, монолитные, прочные породы кровли могут обеспечить полное извлечение и незначительное разубоживание. И, наоборот, при неустойчивых покрывающих породах технология добычи усложняется, а потери и разубоживание руды увеличиваются.

По гидрогеологическим условиям месторождения можно подразделить на сухие, обводненные, которые можно тем или иным способом осушить, и на месторождения с обильным водопритоком, когда их осушение нерентабельно.

При разработке сухих и осушаемых месторождений гидромониторная струя воздействует на забой, как при разработке на поверхности. Это соответствует максимальной дальности эффективного разрушения и может обеспечивать рентабельную добычу полезных ископаемых.

При разработке месторождений с обильным водопритоком процесс добычи ведется в затопленной камере, и показатели добычи значительно ухудшаются, так как гидромониторная струя в водной среде эффективно распространяется на небольшие расстояния (до 1—2,5 м в зависимости от давления и расхода воды).

2.2. Влияние основных физико-геологических характеристик месторождения на технологию и оборудование СГД

Основными характеристиками месторождения при выборе параметров разработки являются физико-механические свойства руды и вмещающих пород, угол падения и мощность рудного пласта, мощность покрывающих пород, гидрогеологические условия.

Физико-механические свойства руды определяют важнейшие параметры СГД: удельный расход и потребный напор воды для

разрушения и смыва, параметры гидротранспортирования пород, размеры карты намыва. Эти же свойства определяют в значительной степени выбор основного оборудования (насосов, гидромонитора, выдачного механизма).

Физико-механические свойства пород кровли определяют их устойчивость при обнажении в процессе выемки рудного пласта. По степени устойчивости породы кровли можно подразделить на неустойчивые (породы кровли обрушаются вслед за выемкой руды или сопровождают ее), устойчивые (обладающие долговременной прочностью) и монолитные (допускающие большие площади обнажения). Устойчивость кровли определяет параметры системы разработки, размеры камеры и порядок выемки.

Большое влияние на эффективное применение СГД оказывают форма и элементы залегания рудных тел. Условия контакта вмещающих пород по кровле и подошве определяют потери руды и способы доставки (смыва) в камеру. Мощность рудного пласта во многом определяет объем добычи из одной камеры и тем самым экономическую эффективность метода. Однако здесь большую роль играет ценность полезного ископаемого. Может оказаться, что большая ценность руды позволяет эффективно разработать мало-мощные рудные залежи.

Глубина залегания определяет конструкцию добычного оборудования и влияет на экономическую эффективность метода. Себестоимость добычи руды методом СГД с увеличением глубины залегания растет менее существенно, чем при традиционных методах добычи. Это позволяет эффективно отрабатывать рудные тела, залегающие на большой глубине или под водоемами, разработка которых традиционными способами или невыгодна, или вообще невозможна. Требования к качеству руды, потерям и разубоживанию также в значительной степени определяют параметры технологии и оборудования СГД.

Гидрогеологические условия влияют на выбор добычного оборудования и схему обработки рудного пласта. Если водоприток невысок, то воду можно откачать непосредственно из камеры и добычу вести в незатопленном забое. При большом водопритоке добычу можно вести в затопленном забое. Однако при этом значительно усложняются процессы разрушения и доставки руды.

Заболоченность или сложность рельефа поверхности над рудным телом влияет на конструкцию и тип применяемого оборудова-

ния для механизации добычных работ, бурового агрегата, трубоукладчика и транспортных средств. Указанное оборудование может быть общепромышленного назначения, в болотном исполнении или с использованием плавучих средств (корабль, понтон, баржа).

Связь некоторых параметров технологии СГД с характеристиками физико-геологической обстановки представлена в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Физико-геологические характеристики, влияющие на выбор метода СГД

Характеристика рудного тела и вмещающих пород	Способ определения
Состояние: положение, мощность, обводненность, условия питания и разгрузки, угол наклона Состав: минеральный, химический, гранулометрический Строение: структура и текстура руд, пористость и трещиноватость, неоднородность в разрезе и плане Свойства: фильтрационные; размываемость; пластичность, размокаемость, влагоемкость, влагоотдача; прочность	Бурение разведочных скважин, гидрогеологические и геофизические исследования, лабораторные исследования

2.3. Особенности инженерно-геологических изысканий и геологического обслуживания предприятия СГД

При разведке месторождения для СГД требуется более точное (по площади и по мощности) определение физико-механических свойств руды и вмещающих пород, условий их контакта, наличия безрудных прослоек, так как они обуславливают правильный выбор параметров системы разработки, технологии и добычного оборудования. В этом одна из главных особенностей разведки месторождения для СГД.

Другая особенность связана с эксплуатационной разведкой. Она заключается в том, что скважины эксплуатационной разведки целесообразно использовать как добычные. Для этого их диаметр должен быть доведен до диаметра добычных.

Основные задачи геологического обслуживания предприятия СГД заключаются в следующем: по данным эксплуатационной разведки уточняется физико-геологическая обстановка (условия залегания, гидрогеологические особенности и параметры, структура,

морфология и мощность залежи); качество и пространственное распределение промышленных типов полезных ископаемых, и их физические свойства (пористость, трещиноватость, кавернозность); систематическая документация геологических данных, опробование, проведение необходимых гидрогеологических и геофизических исследований в добычных скважинах, контроль за технологией их проходки; изучение гидрогеологических условий и контроль за составом вод в подземных добычных камерах, организация мероприятий по охране источников хозяйственного и технического водоснабжения от истощения и загрязнения; составление сводной геологической и гидрогеологической документации баланса, а также оперативный учет движения запасов полезного ископаемого; оформление актов на погашение отработанных участков и материалов на списание неподтвердившихся или утративших промышленное значение запасов; оценка перспектив развития предприятия и изучение состояния минерально-сырьевой базы; изучение источников потерь руды и разубоживания, разработка рекомендаций по уменьшению их и контроль их исполнения.

Главными сводными геологическими документами являются паспорт и геолого-техническая карточка каждой добычной скважины, план участка и разрезы к нему, геологический и геолого-маркшейдерский планы и разрезы разрабатываемого участка, гидрогеологические планы и разрезы.

2.4. Минеральная база СГД

С учетом тенденций развития техники необходимо готовить минеральную базу завтрашнего дня. Есть все основания полагать, что СГД станет одним из основных методов подземной разработки месторождений руд с невысокой прочностью.

В табл. 2.2 приведена оценка ряда известных месторождений с точки зрения возможности их отработки методом скважинной гидродобычи. Не все месторождения в одинаковой степени пригодны для СГД. Важнейшими проблемами, которые необходимо решить, являются: изыскание способов разупрочнения прочных разностей руд, упрочнения песчанистых и глинистых пород кровли, закладка выработанных пространств. В этом направлении ведутся теоретические и лабораторные исследования и можно надеяться, что эти проблемы будут решены.

Минеральная база метода скважинной гидродобычи полезных ископаемых

Типы месторождений и руды	Глубина залегания, м	Мощность рудного пласта, м	Породы непосредственной кровли	Рудный пласт	Факторы благоприятствующие	Факторы, затрудняющие применение метода СГД
1. Осадочные платформенные: фосфоритовые обломочные пески (Кингисеппское, Нарвское, Котловское, Чаплинское и др.)	10—80	1—5	Доломиты, известняки	Оболовые пески и песчаники	Рыхлая руда, четкая граница между рудным пластом и вмещающими породами, устойчивая кровля, небольшая глубина залегания рудного пласта.	Наличие твердых прослоек конкреционного песчаника, сильная обводненность месторождения, заболоченность поверхности. Слабые покрывающие породы, болотистая поверхность
желваковые фосфориты (Вятско-Камский и Подмосковский бассейны)	18—120	0,5—1,5	Глауконитовые пески и песчаники	Песчанистая глина с фосфатсодержащими желваками	Рыхлая руда, небольшая глубина	Слабые покрывающие породы, сильная обводненность
2. Погребенные россыпные: ятарные (Калининградская обл., Камчатка) касситеритовые	0—40	6—10	Пески	Сутлинки с янтарем	Рыхлая руда, большая мощность рудного пласта	Слабые покрывающие породы, сильная обводненность
ильменитовые	0—100	50—70	Пески	Илы и пески с конкрециями касситерита	Рыхлая руда, большая мощность рудного пласта, неглубокое залегание	Слабые покрывающие породы, обводненность
	60—80	10	Глина	Тонкозернистый песок		

золотоносные	20—70	1—5	Пески с валунами, гравием, илисто-глинистый льдоцемент	Пески с гравием	Рыхлая руда, большая мощность, неглубокое залегание, прочные вечномерзлые покрывающие породы	Неровный плотик, необходимость оттаивания мерзлого рудного пласта, наличие валунов, обводненность
3. Кора выветривания апатитовосные карбонатиты	30—120	0—204	Глины, песчаники	Песчано-глинистые породы с зернами апатита	Рыхлая руда, большая мощность пласта	Слабые покрывающие породы, сильная обводненность, наличие крупных кусков коренных пород
4. Железные руды КМА (Яковлевское, Гостинцевское, Коробковское, Жиганское и др.)	500	10—380	Известняки	Гидрогематитовые, гематитовые, маргитожелезные слюдяные	Относительно невысокая прочность (60% РУД с прочностью менее 5 кг/см ²) большая мощность пласта	Большая глубина залегания, наличие твердых включений
5. Осадочные месторождения металлов: марганцевые руды	10—100	0,5—4,5	Песчаники, глины, пески	Землистые пирролюзитовые руды	Невысокая прочность, месторождение сухое, угол наклона подошвы поворачивает самотечный	Наличие безрудных прослоек
песчано — глинистые урановые руды	80—350	0,5—2,0	Песчаники	Песчаники и глины с включением органического детрита	Гидросмыв Невысокая прочность, сухое месторождение	Малая мощность рудного пласта
6. Бурые угли и возможно каменные угли крутопадающих пластов	До 40—80	1—6	Песчано-глинистые породы	Бурые и каменные угли	Невысокая прочность угля, большая мощность пласта	Слабые покрывающие породы, обводненность
7. Строительные материалы: песко-гравий	20—300	5—40	Глины, султлинки	Пески, гравий, галечник	Рыхлая руда, большая мощность пласта	Слабые покрывающие породы, сильная обводненность, вечномерзлые породы

Другим необходимым условием, обеспечивающим быстрейшую реализацию потенциального народнохозяйственного эффекта от использования метода СГД, является своевременная подготовка минеральной базы. Необходимо взять на учет все месторождения, в том числе забалансовые, на которых существуют предпосылки для применения СГД, и провести их оценку. Если на таких месторождениях ведутся разведочные работы, следует включить в их программу изучение физико-механических свойств руды и покрывающих пород, а также гранулометрического состава руд см. табл. 2.3.

Таблица 2.3

Оценка факторов влияющих на СГД

Рудный пласт	Факторы благоприятствующие	Факторы, затрудняющие применение метода СГД
Оболовые пески и песчаники	Рыхлая руда, четкая граница между рудным пластом и вмещающими породами, устойчивая кровля, небольшая глубина залегания рудного пласта	Наличие твердых прослоек конкреционного песчаника, сильная обводненность месторождения, заболоченность поверхности
Оболовые конгломераты и песчаник	Богатая руда	Слабая прочность пород непосредственной кровли, наличие твердых прослоек в руде, относительно большая прочность рудного пласта, сильная обводненность
Песчанистая глина с фосфат содержащими желваками	Рыхлая руда, четкая граница по подстилающим породам, малые водопритоки	Слабые покрывающие породы, болотистая поверхность
Суглинки с янтарем	Рыхлая руда, небольшая глубина	Слабые покрывающие породы, сильная обводненность
Илы и пески с конкрециями касситерита	Рыхлая руда, большая мощность рудного пласта	Слабые покрывающие породы, сильная обводненность
Тонкозернистый песок	Рыхлая руда, большая мощность рудного пласта, неглубокое залегание	Слабые покрывающие породы, обводненность
Пески с гравием	Рыхлая руда, большая мощность, неглубокое залегание, прочные вечномерзлые покрывающие породы	Неровный плотик, необходимость оттаивания мерзлого рудного пласта, наличие валунов, обводненность

Рудный пласт	Факторы благоприятствующие	Факторы, затрудняющие применение метода СГД
Песчано-глинистые породы с зернами апатита	Рыхлая руда, большая мощность пласта	Слабые покрывающие породы, сильная обводненность, наличие крупных кусков коренных пород
Гидрогематитовые, гематитовые, марти-тожелезно-слюдковые	Относительно невысокая прочность (60 % руд с прочностью менее 5 кгс/см ²) большая мощность пласта	Большая глубина залегания, наличие твердых включений
Землистые пирролюзитовые руды	Невысокая прочность, месторождение сухое, угол наклона подошвы позволяет самотечный гидросмыв	Наличие безрудных прослоек
Песчаники и глины с включением органического детрита	Невысокая прочность, сухое месторождение	Малая мощность рудного пласта
Бурые угли	Невысокая прочность угля, большая мощность пласта	Слабые покрывающие породы, обводненность
Пески, гравий, галечник	Рыхлая руда, большая мощность пласта	Слабые покрывающие породы, сильная обводненность

На выявленных благоприятных для СГД месторождениях и их участках целесообразно организовать опытные работы, проведение которых под силу геологоразведочным организациям.

Для широкого внедрения метода в первую очередь необходимо провести: геолого-экономическую оценку перспективных месторождений с учетом особенностей СГД и выделить первоочередные; разработать основные методические положения по разведке и до-разведке месторождений, перспективных для освоения; определить объемы и содержание геологоразведочных работ для каждого конкретного месторождения, провести опытные работы по выбору технологии и соответствующего добычного оборудования.

3. ОСНОВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ

3.1. Вскрытие и подготовка руды при СГД

Объем и виды работ по подготовке месторождений для СГД зависят от конкретных условий местности. В условиях равнинной и сухой поверхности подготовительные работы включают прокладку подъездных путей, линии электроснабжения, трубопроводов для подачи воды, воздуха и гидросмеси. В условиях заболоченной поверхности необходимо проведение дренажных канав.

Выработки, обеспечивающие доступ к месторождению для его подготовки и разработки, называются вскрывающими. При СГД вскрывающими выработками являются скважины, которые по своему назначению бывают добычные и вспомогательные (разведочные, водоотливные, контрольные).

Вскрытие месторождения состоит из ряда последовательно выполняемых операций: выбора места заложения скважин, уточнения конструкции скважины, бурения и обсадки скважин, геологических, гидрогеологических и геофизических исследований скважин, оборудование скважин для эксплуатации, оформление документации и сдачи ее в эксплуатацию.

Известны следующие способы вскрытия при СГД:

- отдельными одиночными скважинами, вертикальной или наклонной;
- группой из нескольких скважин, спаренными или взаимодействующими скважинами (вертикальными, наклонными);
- горной выработкой и скважинами (СГД в сочетании с традиционными способами разработки).

Вскрытие продуктивного пласта отдельной скважиной производится при отработке отдельными невзаимодействующими камерами. Такой способ вскрытия применяется на пластах средней и большой мощности. Вскрытие вертикальными скважинами производится, как правило, при залегании устойчивых покрывающих продуктивный пласт пород. При вскрытии наклонными скважинами техника и обслуживающий персонал выводятся за пределы зо-

ны подработки над добычными камерами, облегчается демонтаж скважинного оборудования. Наклонные скважины могут быть использованы при разработке крутопадающих пластов, например угольных. При большой глубине залегания продуктивного пласта, и если продуктивный пласт представлен ценными породами повышенной прочности, например, при разработке железистых кварцитов КМА или кимберлитовых алмазосодержащих трубок, может быть эффективным способ вскрытия направленными вертикально-наклонными скважинами, позволяющими увеличить радиус отработки за счет отклонения породоразрушающего и грунтозаборного устройства от вертикальной оси и приближения его к забою.

Вскрытие группой взаимодействующих скважин обычно производится при малой мощности продуктивного пласта, когда отрабатывается незатопленная подземная камера с направленным смывом гидромониторной струей руды в сторону пульпоподъемной скважины. Такая схема вскрытия позволяет управлять формированием добычной камеры и межкамерным целиком и снизить потери полезного ископаемого на дне камеры, например при разработке полезных ископаемых с высокой плотностью: золото, касситерит, урановые руды.

Комбинированный способ с использованием скважины и горной выработки может найти применение при залегании полезного ископаемого в сложных горно-геологических условиях или при отработке бортовых целиком карьеров. Так, например, талая золото-содержащая россыпь вскрывалась скважинами, пробуренными из горной выработки, пройденной в подстилающих устойчивых породах. Есть предложения по аналогичной добыче выветрелых железистых кварцитов КМА. Отработка целиком, находящихся в бортах карьеров, может быть осуществлена как через вертикальные скважины, пробуренные с поверхности, так и через горизонтальные скважины, пробуренные со дна траншеи.

Конструкция добычных скважин зависит от геологических факторов и типа добычного оборудования.

Рациональные диаметры бурения и добычного оборудования определяются путем совместного рассмотрения этих двух взаимно противоположных тенденций: уменьшение диаметра скважины снижает затраты на бурение и одновременно ограничивает производительность добычного оборудования. Оптимальный вариант должен обеспечивать общую экономическую эффективность эксплуатации.

Особенность бурения скважин: необходимость отбора керна в слабых неустойчивых породах; требования к надежному выявлению контактов пород с рудным пластом при близких физико-механических свойствах; необходимость обеспечения устойчивости стенок в породах небольшой крепости; недопустимость значительных искривлений ствола, т.к. это усложняет спуск технологических колонн.

Буровое оборудование для скважинной гидродобычи, как правило, должно иметь характеристики разведочного с возможностями отбора керна, проходки пород с любыми свойствами и условиями залегания, ведения работ по обсадке и цементации. Кроме того, целесообразно, чтобы оно обеспечивало монтаж скважинного оборудования и выполнение операций, присущих станкам для бурения взрывных скважин: электрический привод, большие скорости бурения по твердым породам, практическое отсутствие операций по подготовке станка к работе на новой скважине, механизация всех основных операций при бурении.

В связи с тем, что метод ориентирован на разработку рыхлых, разнородных пород, открытая часть ствола скважины при его проходке часто заплывает, и спуск рабочих колонн до почвы пласта затруднителен или невозможен без промывки и удаления шлаков. Поэтому, в зависимости от принятой технологии отработки камеры, разрабатываемый интервал пород или не разбуривается, а только вскрывается, или его проходят на утяжеленном глинистом растворе (для удержания стенок ствола скважин).

Крепление скважин, при необходимости, выполняется в два этапа: спуск обсадной колонны и цементация затрубного пространства.

Перед оборудованием скважин производится опробование рудного пласта, как отбором керна, так и геофизическими методами. Кроме этого проводят гидрогеологические исследования с целью выявления дебита воды, времени восстановления уровня, качества воды и т.д.

Бурение скважин производится в соответствии с утвержденным планом горных работ, где указывается порядок бурения и сдачи в эксплуатацию добычных, наблюдательных и разведочных скважин.

При бурении добычной, наблюдательной или разведочной скважины, в зависимости от ее назначения, составляются следующие документы: 1) буровой журнал и геологический паспорт скважины; 2) акт о заложении скважины с указанием точного ее

местонахождения; 3) акт контрольного замера глубины скважины; 4) акт на скрытые работы, в котором указываются порядок бурения и разбуривания скважины; 5) акт об обсадке и цементации; 6) акт замера искривления скважины; 7) отчет о проведенных гидрогеологических исследованиях; 8) отчет о проведенных геофизических испытаниях; 9) акт на оборудование скважины с указанием точного расположения всех труб по отношению к почве пласта.

Качество выполнения буровых работ и оборудования скважин, а также полнота сведений о них, определяют успешность последующей эксплуатации, позволяют оперативно выбрать правильные мероприятия при осложнениях в процессе добычи, разработать и осуществить меры по воздействию на пласт для интенсификации добычи.

3.2. Гидравлическое разрушение руды и ее доставка

Гидромониторная струя является рабочим органом для разрушения и доставки горной массы в технологии добычи полезных ископаемых методом СГД.

Струя характеризуется размером отдельных структурных элементов, динамическим давлением жидкости на выходе из насадки и силой действия на преграду на различных расстояниях от насадки.

Исследователями установлено, что структура и форма струи состоят из трех зон. Первая имеет наибольшую плотность и целиком состоит из подаваемой воды. Вторая (при движении струи в воздушной среде) располагается за ней и характеризуется наличием пузырьков воздуха в струе. Третья представляет собой отдельные струйки воды, движущиеся в воздушной среде. При движении в затопленной среде вторая и третья зоны представляют собой смесь струи гидромонитора с водой камеры и горными породами. Скорость течения струи в этой зоне незначительна и быстро гасится.

Потенциальная энергия воды в насадке преобразуется в кинетическую, запас которой по мере удаления от насадки теряется. Обобщающая аналитическая зависимость силы воздействия струи на преграду не найдена. Существует значительное количество эмпирических зависимостей, полученных в лабораторных, стендовых и натуральных условиях, и различных взглядов на результаты изучения струи и ее воздействия на породный массив.

Сила воздействия струи на массив является функцией диаметра насадки, напора воды и расстояния до забоя. Характер воздействия струи на преграду связан с касательными силами, сдвигающими элементарные слои пород, а дополняют размыв разрушенной горной породы отходящие потоки воды. Часть авторов считает, что разрушение руды происходит в результате лобового воздействия струи и его касательных составляющих. Другие объясняют воздействие струи на породу фильтрационными потоками в месте встречи струи с преградой, которые вызывают выпирание части породы. Профессор В.С. Мучник считал, что первоначально угольный массив разрушается сжимающими усилиями, вызывающими большие растягивающие и касательные напряжения, приводящими к появлению «гидравлического клина». Таким образом, разрушение массива происходит в результате гидродинамического и гидростатического воздействия, обусловленного наличием в породе пор и трещин. В условиях СГД размываемость пород зависит от крепости, а так же крупности частиц. Интенсивность размыва породы определяется характеристиками струи гидромонитора, физико-механическими свойствам пород и условиями работы (расстоянием до забоя, угол встречи струи с забоем и технологическим планом работы гидромонитора).

Имеется ряд рекомендаций, как выбрать напор струи гидромонитора на открытых горных работах, при подземной гидродобыче угля. Имеются классификации пород для выбора напора, основанные на эмпирических данных Главзолота, Минугля и др. Однако сложность явления размыва, отсутствие универсальных зависимостей, как правило, заставляет исследователей определять величину напора и удельного расхода воды для гидроразрушения руды опытным путем в каждом конкретном случае.

Напор у насадки гидромонитора должен соответствовать оптимальной производительности размыва при определенном расстоянии забоя от насадки. Для получения высокой производительности гидромонитора, работающего на разрушение забоя и смыв руды к подъемному механизму, надо определить эффективный напор в зависимости от характеристик руды, ее плотности и кусковатости и найти удельный расход воды на тонну добытой руды, который определяется типом забоя, углом падения рудного тела, направлением действия струи, общим расходом воды.

Гидромониторная струя, попадая на забой, разрушает его и смешивается с рудой, образуя пульпу. Самоходный транспорт пульпы возможен только при наличии определенного уклона в на-

правлении транспортировки. Величина необходимого уклона при движении пульпы зависит от количества, размера и абразивности кусков руды, их формы, удельного веса и количества воды. Как правило, движение твердого в воде происходит в турбулентном потоке, который является результатом превращения потенциальной энергии потока пульпы в кинетическую, благодаря уклону. Турбулизация потока усиливается наличием потоков воды, образующихся при отражении от разрушаемого массива струи гидромонитора.

Несмотря на громадный материал исследовательских работ, принять какие-то концептуальные аналитические решения для расчета гидротранспорта в затопленном забое в настоящее время практически невозможно. Нужны экспериментальные работы в конкретных условиях, которые должны учесть все факторы, влияющие на доставку руды от забоя до приемного устройства подающего пульпу на поверхность. Это же можно сказать и об изучении явления размыва (разрушения) рудного массива струей воды в затопленном забое, особенность которого в том, что струя гидромонитора на пути к забое встречает взвешенные частицы различного размера, что естественно уменьшает производительность разрушения руды. Исследования технологий гидравлического разрушения и доставки руды в затопленной камере при скважинной гидродобыче на специальных моделях занимались сотрудники ГИГХСа Б.В. Исмагилов, А.С. Хрулев, Д.Н. Шпак, которые установили, что для условий Кингисеппского месторождения при давлении струи 2,5 МПа и расходе воды 300 м³/ч, максимальная длина струи, разрушающей забой достигает 7—10 м.

Для расчета уклона при выемке руды из камеры надо исходить из необходимости избежать возникновения заторов. Поэтому уклон, по которому движется пульпа, должен превышать гидравлические потери напора, связанные с наличием в воде руды. Кроме того, скорость движения гидросмеси должна превышать скорость трогания крупных кусков руды. Последняя — является одной из основных гидравлических характеристик движения гидросмеси в потоке. По величине скорости трогания можно судить об условиях гидромеханического воздействия потока на куски руды в момент начала поступательного движения. В некотором диапазоне скорости потока твердые тела остаются в полном покое. При увеличении его скорости наступает момент, когда некоторые тела трогаются с места и движутся с потоком. Главным усилием, воздействующим на куски, является лобовое, способное сдвигать кусок в направлении движения потока. Кроме этого,

на кусок, помещенный в воду, действует подъемная сила. Поэтому оптимальную скорость движения потока в каждом конкретном случае (в зависимости от гранулометрического состава, характеристики почвы выработки и т.д.) следует определять экспериментально.

3.2.1. Гидромониторная струя

Существенное влияние на параметры струи оказывает соотношение плотностей струи и среды, в которой она движется. Свободная незатопленная струя ($\rho_{ст} > \rho_{ср}$) используется при открытой и подземной разработках месторождений полезных ископаемых. Затопленная свободная струя ($\rho_{ст} = \rho_{ср}$) используется при скважинной гидродобыче, струйной зачистке днища кораблей, в реактивных двигателях и т.д. Несвободная затопленная струя ($\rho_{ст} < \rho_{ср}$) имеет место в эжекторных установках, при гидropескоструйной обработке призабойных зон нефте- и серодобычных скважин, при бурении скважин гидромониторными долотами.

Гидромониторные струи принято делить на струи низкого (до 1 МПа), среднего (до 4 МПа) и высокого (выше 4 МПа) давлений. Движение жидкости в струе характеризуется перемещением частиц воды при отсутствии твердых границ. При движении струй, когда смешиваются несколько жидкостей, отличающихся по плотности, а также в многофазных системах, когда вещество струи и вещество среды находятся в различных физических состояниях (в газообразном или капельном, а иногда и с примесью твердых частиц в пограничном слое струи), возникают явления настолько сложные, что на современном этапе нет достаточно надежных способов их аналитического определения.

Специфика формирования струи в скважинном гидромониторе такова, что по мере продвижения потока воды к насадке он встречается на своем пути различные сопротивления, которые способствуют турбулизации и кавитации потока, чем ухудшают качество и параметры струи гидромонитора. Окончательное формирование струй происходит в насадке, назначение которой заключается в преобразовании статического давления воды в кинетическую энергию струи, причем по мере уменьшения сечения насадки при постоянном расходе воды скорость ее увеличивается. Одновременно с этим увеличиваются потери напора в насадке, которые пропорциональны квадрату скорости потока. В конечном сечении насадки статическое давление за вычетом потерь напора переходит в скоростной напор.

Свободная незатопленная струя. Гидромониторная струя при движении в воздухе на некотором расстоянии от насадки, в конце начального участка практически распадается и может быть охарактеризована статистическим описанием отдельных компонентов движущейся водовоздушной смеси. Общая форма уравнений гидромеханики для турбулентного движения дискретных сред не имеет решения.

Рядом исследователей (Г.Н. Роером, Г.П. Никоновым, Г.А. Нурком, Н.Ф. Цяпко и др.) установлены эмпирические зависимости параметров струи от расстояния до насадки для конкретных условий.

Скорость вылета свободной незатопленной струи, расход воды и диаметр насадки гидромонитора определяются по формулам

$$u_0 = \varphi \sqrt{2gH}, \text{ м/с}, \quad (3.1)$$

$$Q = \mu S_H \sqrt{2gH}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.2)$$

$$d_H = 0,52 \sqrt{\frac{Q}{\sqrt{H}}}, \text{ м}, \quad (3.3)$$

где S_H — площадь сечения выходного отверстия насадки, м^2 ; H — напор, м вод. ст.; Q — расход, $\text{м}^3/\text{с}$; $\mu = \alpha\varphi$ — коэффициент расхода, φ — коэффициент скорости, $\varphi = 0,92—0,96$ — для гидромониторов со стволом и насадкой; α — коэффициент сжатия струи, $\alpha = 1$ — для свободных струй.

Свободная затопленная струя. Согласно теории пограничного слоя Прандтля, рассеяние струи обусловлено действием турбулентного обмена между струей и окружающей жидкостью, а причиной зарождения вихрей на границе между струей и жидкостью является вязкость. Эти вихри, затормаживая движение струи, способствуют увеличению ее массы за счет вовлечения в движение жидкости извне. На рис. 3.1 показаны общая для всех видов структура струи и ее основные элементы.

Структура струи характеризуется геометрическими (длина начального и основного участка струи, угол ее расширения) и гидравлическими (начальная скорость истечения из насадки, осевая скорость и скорость потока по сечению струи) параметрами.

Структура и начальные параметры струи определяются условиями формирования потока воды в подводящих каналах. Завихрение потока воды в подводящем канале, неравномерность профиля продольной скорости струи, турбулентность потока воды на входе

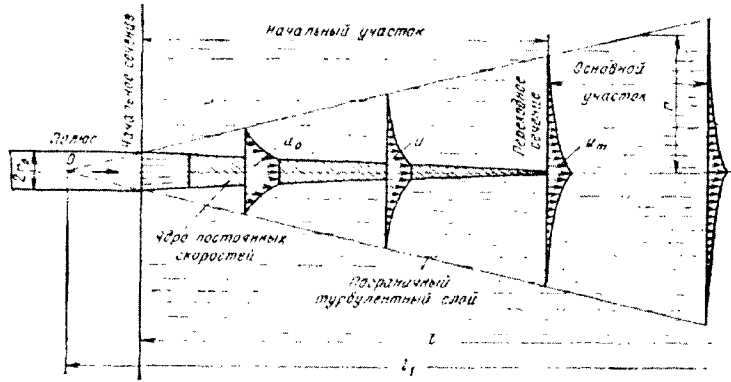


Рис. 3.1. Схема затопленной струи:

r — радиус насадки; O — полюс струи; u_0 — начальная скорость истечения струи; u_m — скорость струн по ее оси; u — скорость струи в произвольной точке по сечению; r — текущий радиус струи; l — длина струи; l_1 — длина струи с учетом полюса

в насадку, возникновение кавитации при больших напорах — факторы, ухудшающие компактность струи и, как следствие, уменьшающие дальность струи. Кроме них на параметры струи влияют вязкость и плотность среды, в которой распространяется струя. Гидравлические и геометрические параметры определяют важнейшие показатели струи на контакте с разрушаемой породой: силу удара и удельное динамическое давление струи.

Из множества теорий струйной, или так называемой свободной турбулентности наибольшее распространение получили старая и новая теория Прандтля, теория Тейлора, теория Рейхарда. Однако все известные аналитические методы обладают существенным недостатком, не позволяющим учитывать влияние на геометрические и гидродинамические параметры струи начальных и граничных условий ее истечения из насадки.

Поэтому наиболее точные данные можно получить при проведении натурных испытаний.

3.2.2. Параметры гидромониторного разрушения

Разрушение горных пород и руд струями воды находит широкое и разнообразное применение в горной и других отраслях промышленности при гидровскрышных и гидродобычных работах (табл. 3.1).

Гидравлический способ разработки, кроме очевидных в благоприятных условиях преимуществ (поточности технологического процесса, высокой производительности труда и низкой себестои-

мости производства горных работ), имеет очень важные для безлюдного способа качества: дистанционность процесса разрушения, приготовления и доставки отбитой рудной массы (в виде пульпы) из забоя до выдачного (подъемного) устройства.

Специфические особенности скважинной гидродобычи, а именно: ограниченность рабочих пространств и конструктивных размеров оборудования (разработка ведется через скважины диаметром 200 — 400 мм); отсутствие возможности визуального контроля и управления работой струи в забое; переменное расстояние от насадки до забоя в процессе выемки очистных камер и другие, обуславливают необходимость проведения специальных исследований, направленных на разработку и совершенствование конструкций скважинных гидромониторов, и установление закономерностей изменения динамических характеристик сформированных в них струй, а также, параметров гидроразрушения в конкретных горно-геологических условиях.

Наиболее значительные работы по исследованию структуры и динамики водяной свободной незатопленной струи и процесса гидравлического разрушения горных пород выполнены в ИГД имени А.А. Скочинского (Г.Л. Никонов, И.А. Кузьмич, В.Ф. Хныкин, С.С. Шавловский, В.Е. Бафгаловский), во ВНИИГ гидроугле (В. С. Мучник, Б.А. Теодорович, Н.Ф. Цяпко, в МГИ (Г.А. Нурок), в ИГД УФАН СССР (И.С. Куклин, К.М. Штукатуров, в ЛГИ имени Г.В. Плеханова (К.Г. Асетур), во ВНИПИГорцветмете (Г.М. Лезгинцев); в МГРИ (С.М. Шорохов), в ДПИ (Тимошенко Г.М., Гейер В.Г.).

Многочисленными исследованиями доказано, что эффективность гидравлического разрушения зависит от комплекса природных, гидравлических, технических и технологических факторов. Однако общая теория разрушения горных пород струей воды и универсальная методика расчета до настоящего времени не разработана, что объясняется наличием многочисленных факторов, влияющих на характер взаимодействия струи с массивом. В первую очередь это относится к многообразию горно-геологических характеристик разрабатываемых месторождений, так и к недостаточной изученности физики твердого тела, представленного неоднородными горными породами.

Работы по скважинной гидродобыче руд в отечественной и зарубежной практике не имеют прямых аналогов по типу разрабатываемых руд и параметрам гидроразрушения. Параметры применяемого гидравлического оборудования СГД, в связи со спецификой этого способа добычи, также не имеют аналогов в применяемых гидравлических разработках.

Данные опытных работ

Группы гидромониторного способа разработки месторождений (вид применяемых струй)	Характеристика разрабатываемых полезных ископаемых и пород	Средства и параметры гидравлического разрушения			
		Диаметр насадки d_0 , мм	Начальное давление P_0 , МПа	Расход воды, $m^3/ч$	Рабочая длина струи l , м
1	2	3	4	5	6
Скважинная гидродобыча полезных ископаемых: а) низконапорные струи б) струи среднего давления в) струи высокого давления	Рыхлые, слабо связанные руды $\sigma_{сж}$ до 0,1 МПа Плотные глинистые руды Угли, сланцы, $\sigma_{сж}$ до 20 МПа	25—40 17—25 8—12 10—30	1,5—2,0 3—12 15—30 3—10	100—300 50—150 30—100 50—300	5—15 5—12 4—6 0,5—3
Подводная разработка месторождений полезных ископаемых на шельфе Мирового океана (струи среднего давления в затопленной среде)	Пыльчатые, рыхлые слабосвязные руды, конкреции $\sigma_{сж}$ до 0,5 МПа				

Так же, как и при традиционных способах гидравлической добычи полезных ископаемых (открытом и подземном), при СГД необходимо исследовать целый ряд факторов, чтобы добиться высокоэффективной и качественной выемки полезного ископаемого. Влияние природных или горно-геологических факторов при скважинной гидродобыче практически то же, что и при открытых и подземных гидравлических разработках, т.е. совокупность всех петрографических особенностей, прочностных, водных и других свойств руд определяет, в конечном итоге, возможность и эффективность применения гидравлического разрушения, необходимый напор и удельный расход воды, параметры гидроподъема и гидротранспортирования, технологию обогащения и размеры хвостохранилища, выбор основного оборудования. Механизм процесса первичного гидравлического разрушения характеризуется многогранностью воздействия воды на массив, включая разрушение за счет касательных напряжений, удара, фильтрации, выпора.

В упомянутых выше теоретических исследованиях рассматривается упрощенная задача, при решении которой получают приближенные зависимости между механическими характеристиками разрушаемого горного массива и параметрами, характеризующими струю.

Кроме этого, во всех исследованиях, как правило, рассматривается разрушение на участке «рабочей длины струи», т.е. той ее части, «в которой удельное давление выше минимального». На вопрос какова величина «минимального давления», дается лишь приближенный ответ. Вопросы разрушения горного массива и, в частности,

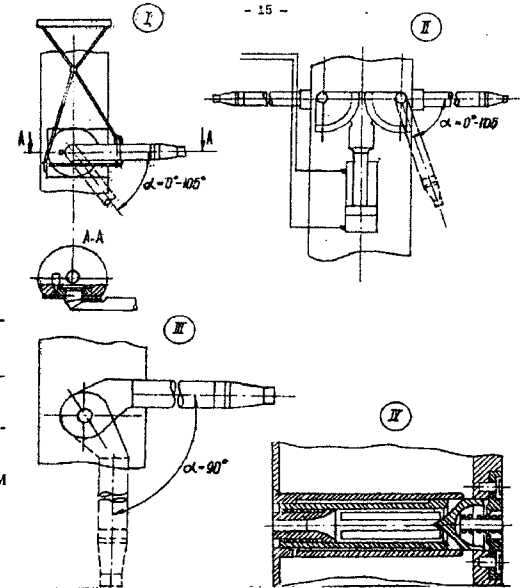


Рис. 3.2. Модификации гидромониторных устройств СГД:
I — выводной гидромонитор с тросовым приводом;
II — выводной гидромонитор с гидроприводом;
III — гидромонитор с автоматическим выводом за счет реакции струи;
IV — телескопический встроенный гидромонитор с автоматическим выводом

гидроразрушения являются задачами общей теории предельного равновесия разработанной в трудах Ш. Кулона, Л. Прандтля, К. Тергаца, Л. Шукле и других зарубежных ученых, а также нашими учеными В.В. Соколовским, С.С. Глушкевичем, В.Г. Березанцевым, В.Н. Николаевским. Решение указанных задач рассматривается в разделе механики сплошных сред, изучающем процесс неупругого деформирования пористо-трещиноватых сред (горных массивов), получившего название дилатансия.

Гидравлические факторы определяют условия формирования потока в подводящих каналах гидромонитора, вращение потока относительно продольной оси подводящего канала, наличие неравномерности профиля продольной скорости струи, турбулентность поступающего к насадке потока воды, возможность возникновения кавитации при больших напорах.

В связи с отмеченными выше преимуществами технологической схемы СГД с отбойкой руда свободными незатопленными струями в осушенном очистном пространстве рассмотрим параметры свободных незатопленных струй, формируемых скважинными гидромониторами. Специфические черты способа СГД обуславливают, как указывалось выше, своеобразие конструкций скважинных гидромониторов и отличие их от гидромониторов для традиционных гидравлических разработок. Для многосекционных скважинных снарядов, применяемых при больших глубинах разработки, необходим надежный, управляемый автоматически механизм вывода ствола в рабочее положение.

Встроенный скважинный гидромонитор представляет собой цилиндрический патрубок с успокоителем с автоматическим выводом в рабочее положение за счет давления воды (рис. 3.2, IV). При спускоподъемных операциях в скважине он находится в транспортном положении внутри гидродобычного агрегата. Для различных горно-геологических условий было разработано несколько типов таких гидромониторов.

Выводной скважинный гидромонитор (см. рис. 3.2, I—III) располагается шарнирно на добычном агрегате. При спуске и подъеме агрегата в скважине он занимает вертикальное положение, помещаясь в специальном углублении на внешней трубе агрегата, и не выходит за его габариты. Таким образом, длина его практически не зависит от габаритов добычного агрегата. В рабочее горизонтальное положение этот гидромонитор выводится при давлении воды в трубке свыше 1,5 МПа.

На основании анализа накопленного опыта СГД рекомендуются следующие конструкции скважинных гидромониторов (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Конструкции скважинных гидромониторов

Часть гидромонитора	Конструкция	Узел вывода в рабочее положение	Диаметр	Длина
1	2	3	4	5
Насадка	Коническая Коноидальная, со сложным профилем	—	$d_0 = 16 \div 22$ мм	Общая (4÷5) d_0 Длина цилиндрической части — (1÷3) d_0
Ствол для формирования свободных незатопленных струй	Короткий встроенный: — невыдвижной	—	$D = 2,5 \div 3d_0$	Общая (4÷6) D Успокоитель сотовой, — длина (1,5—2) D
	— выдвигной	За счет давления	—	Расстояние от насадки (1÷1,5) D
	— выводной	Автоматический за счет реакции струи Механический с помощью гидропривода	$D = 3 - 5d_0$	Общая (5÷7) D Успокоитель сотовой, длина (2÷2,5) D , Расстояние от насадки 1,5 D Расстояние от входа в ствол (2÷3) D
Ствол для формирования свободных затопленных струй	Телескопический	Механический с помощью тростовой системы За счет перемещения внутренней трубы рабочего става	$D = 3 \div 5d_0$	Общая до 10 м Собственно ствол (20÷25) D
	Шланговый	Отклоняющая цепная многозвенная система, реактивная насадка	$D = 3 \div 5d_0$	Общая до 10 м Собственно ствол (10÷15) D

Конструкция гидромонитора в свою очередь влияет на конструкцию скважины. При отработке связных руд встроенными выдвижными или невыдвижными гидромониторами требуется расширение призабойной зоны скважины до 500—600 мм для обеспечения подтекания пульпы к гидроэлеватору, а при применении удлиненных выводных мониторов требуется расширение для вывода гидромонитора в рабочее положение до диаметра 1000—1200 мм. В связи с неблагоприятными условиями для формирования качественных струй в скважинных гидромониторах из-за их уменьшенных габаритов, по сравнению с аналогичными по водопроизводительности и напорам гидромониторами для подземных работ, актуальным для СГД является всемерное использование средств повышения работоспособности струи.

Анализ литературных источников и производственного опыта применения гидродобычи позволяет наметить следующие пути повышения работоспособности струи на значительных (свыше 7 м) расстояниях от насадки: улучшение условий формирования потока напорной воды в подводящих каналах, стволе гидромонитора и насадке; ввод в струю химических и механических добавок; различные способы физического воздействия на струю (электрические, магнитные и др.); применение импульсных и пульсирующих струй.

С целью эффективного снижения турбулентности потока, подтекающего к насадке, в стволах скважинных мониторов устанавливаются успокоители. При начальном давлении воды в стволе гидромонитора 5—6 МПа и его внутреннем диаметре $d_0 = 50$ мм рекомендуется исходя из выполненных исследований, применять успокоители:

- для $d_0 < 15,0$ мм — крестообразный успокоитель (четыре ячейки);
- для $15,0 < d_0 < 18,3$ — сотовый успокоитель с 9 ячейками;
- для $d_0 > 18,3$ мм — сотовый успокоитель с 16 ячейками.

Компактность, а, следовательно, и работоспособность гидромониторных струй в значительной степени зависят от очертания профиля насадки, а также чистоты обработки внутренней ее поверхности, определяющих величину потерь кинетической энергии. Это обстоятельство отмечается практически всеми исследователями гидромониторных струй.

Улучшения динамических характеристик струи среднего давления можно достигнуть, применив насадки с рациональным, рассчитанным с помощью ЭВМ, профилем струеформирующей поверхности.

Реальным является путь совершенствования самой струи как рабочего разрушающего органа. В этом плане перспективен ввод в струю полимерных водорастворимых добавок. Эти добавки позволяют снизить потери на трение и турбулентность потока.

Технические факторы гидравлического разрушения при СГД, к которым относятся радиус размыва, угол встречи струи с забоем и скорость перемещения струи по забою, имеют существенные отличия от открытых и подземных гидромониторных разработок из-за отсутствия возможности сохранения оптимального расстояния до забоя, оставляющего обычно (250—300) d_0 . При открытых и подземных гидравлических разработках осуществляется постоянная передвижка гидромониторной установки вслед за продвижением очистного забоя, и тем самым достигается максимальная для данных конкретных условий производительность размыва.

При СГД, когда разработка ведется через скважины, расстояние до забоя постоянно увеличивается. На определенном удалении от насадки производительность резко снижается, и дальнейшая разработка становится неэффективной. Тогда возникает вопрос о выборе рациональной сетки добычных скважин, обеспечивающей рентабельную отработку залежи.

В результате осуществления очистной выемки в рудном массиве образуется горная выработка с конфигурацией, зависящей от конструктивных параметров принятой системы разработки. Изменение напряженного состояния в кровле и при определенном соотношении физико-механических свойств массива приводит к образованию площади предельного равновесия разрушенного массива.

Эффективность гидравлического размыва руды определяется производительностью гидромонитора по руде, удельным расходом напорной воды и удельной энергоемкостью. Исследования зависимости производительности гидроотбойки от расстояния до забоя показали, что производительность гидромонитора постепенно уменьшается, а удельный расход воды соответственно возрастает. Однако, для конкретных условий, зависимость производительности гидроотбойки от расстояния до забоя должна устанавливаться экспериментально.

При расчете параметров гидромониторного разрушения определяется максимальный и эффективный радиус разрушения.

Максимальный радиус находится по расстоянию, на котором осевое динамическое давление затопленной и незатопленной струи превышает критическое значение, необходимое для разрушения

структуры породы. Для свободных незатопленных гидромониторных струй расчет ведется по следующим зависимостям

$$P_m = P_o \left(\frac{L_H}{L} \right)^k, \quad (3.4)$$

$$L_H = (A - B Re) \cdot d, \quad (3.5)$$

где P_o , P_m — осевое динамическое давление у насадки и на расстоянии L от насадки; L_H — длина начального участка струи, d — диаметр насадки; Re — число Рейнольдса $Re = \frac{u_o \cdot d_y}{\gamma}$; k , A и B — эмпирические коэффициенты, различающиеся в зависимости от давления и расхода воды и конструкции гидромонитора.

Для различных пород предложен ряд упрощенных характеристик гидравлической разрушаемости массива. Так, для угля максимальный радиус размыва предлагается определять через коэффициент прочности по М.М. Протоdjаконову f при осевом давлении струи равном

$$P_T = (25 \div 30) \sqrt{f}. \quad (3.6)$$

Для слабосцементированных песчаников разрушение происходит при величине осевого давления струи превышающей предел прочности пород на сдвиг.

Таким образом, задаваясь давлением и расходом воды на насадке гидромонитора и прочностью пород, определяют начальную скорость струи и по формулам 3.4 и 3.5 находят максимальную дальность (радиус) разрушения L .

Эффективный радиус разрушения — это радиус размыва, при котором обеспечивается заданная величина производительности разрушения, необходимая для эффективной выемки способом СГД. Обычно он составляет 70—80 % от максимального радиуса.

Производительность гидромониторного разрушения ориентировочно может быть определена из опыта гидромеханизации горных работ по удельному расходу воды для различных типов пород.

В настоящее время отсутствуют закономерности удельной энергоёмкости разрушения горных пород от их прочности. Поэтому для каждого конкретного пород опытным путем в натурных ус-

ловиях получают зависимость производительности разрушения от давления и расхода воды.

Н.Ф. Цапко для углей Кузбасса ($f = 0,8—1,2$) получил зависимость производительности разрушения в виде уравнения

$$\Pi = AP^{2.5} d^2 10^{-4}, \quad (3.7)$$

где A — опытный коэффициент, зависящий от прочности угля.

Для углей пласта Инского I—III — $A = 1,2$, для Польшаевского — II — $A = 1,7$.

Удельный расход напорной воды

$$q = \frac{Q}{\Pi} = \frac{1,22 \cdot 10^4 d^2 P^{0.5}}{\Pi}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (3.8)$$

где Q — расход воды, м³/сек; P — давление воды, м. вод. ст.; d — диаметр насадки, м.

Для определения удельного расхода воды на разрушение горных пород в зависимости от удельного динамического давления струи на контакте с забоем P_m используется эмпирическая зависимость

$$q = \frac{M}{P_m^n}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (3.9)$$

где M — опытный коэффициент, зависящий от условий применения гидравлического разрушения в забое, n — опытный показатель эффективности гидравлического разрушения.

Обработка полученных для условий Исовского прииска (Урал) и Южно-Лебединского карьера (КМА) зависимостей $q = f(P_m)$ позволила получить значения коэффициентов M и n (табл. 3.3).

Таблица 3.3
Опытные данные экспериментов

№	Породы	M	n
1.	Плотные суглинистые породы (Исовский прииск)	12	0,8
2.	Мело-мергельные породы, разрыхленные (Южно-Лебединский карьер) буровзрывным способом	94	1,75
3.	Плотные, трудноразмываемые глинистые породы, рыхлые, выветрелые мело-мергельные породы (Южно-Лебединский карьер)	141	1,75
4.	Полускальные мело-мергельные породы (Южно-Лебединский карьер)	282	1,75

Для определения производительности разрушения слабосцементированных песков ($\sigma_{сж} = 5 \div 20 \text{ кг/см}^2$) от давления воды в затопленном забое получена следующая эмпирическая формула

$$P = k \cdot P_0, \text{ т/ч}, \quad (3.10)$$

где k — опытный коэффициент, зависящий от диаметра насадки.

$$k = 1,2 \text{ (} d = 11 \text{ мм); } k = 2,0 \text{ (} d = 15 \text{ мм); } k = 4,8 \text{ (} d = 23 \text{ мм).}$$

Для условий разработки многолетнемерзлых осадочных пород А.С. Хрулевым на основе обобщения результатов лабораторных и натуральных стендовых исследований получены эмпирические зависимости для определения дальности и производительности гидромониторного разрушения, учитывающие параметры струи и разрушаемого массива.

Максимальная дальность размыва определяется по формуле

$$L_{\text{макс}} = 8,55 \frac{P^{0,25} d^{0,5} T^{0,5}}{G^{0,35} |t|^{0,5}}, \text{ м}. \quad (3.11)$$

Производительность на расстоянии эффективной дальности $L_{\text{эф}} = 0,8 \cdot L_{\text{макс}}$ определяется по формуле

$$P = 25,45 \frac{d P^{0,65} T}{G |t|}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.12)$$

где d — диаметр насадки гидромонитора (10—40 мм), мм; P — давление воды на насадке (0,5—2,5 МПа), МПа; G — льдистость пород (150—750 кг/м³), кг/м³; T — начальная температура воды (2—25°C), °C; t — начальная температура породы (−2 ÷ −10) °C (по абсолютной величине).

Существенное влияние при скважинной гидродобыче, как и при других видах гидромеханизированных разработок, на производительность гидроотбойки и всего способа в целом оказывают технологические факторы. Правильно выбранная технология очистных работ позволяет достичь максимальной эффективности всего комплекса: гидроотбойки, гидродоставки, гидроподъема и управления горным давлением, т.е. обеспечение максимума выемки полезного ископаемого с заданным разубоживанием. Совокупность указанных технологических операций реализуется в системе разработки.

Для достижения поставленной цели необходимо последовательно решить следующие задачи: выбрать конструкцию скважинного гидромонитора; определить основные, необходимые для инженерного расчета характеристики струи; увязать характеристики струи с физико-механическими свойствами разрушаемого массива и определить параметры гидравлического разрушения; на основе совместного анализа характеристик струи и параметров разрушения установить расстояние между добычными скважинами.

Также можно решить и обратную задачу — по требуемой часовой производительности разрушения руд с известной прочностью определить параметры струи, а, следовательно, и параметры скважинного гидромонитора и насоса.

Разрушение руды затопленной гидромониторной струей происходит при осевом давлении равном или превышающем сопротивление сдвига, т.е. $P_m \geq \tau$.

Для затопленной гидромониторной струи среднего давления (1—4 МПа) и при диаметре насадки 10—45 мм для определения величины осевого давления струи может использоваться следующая формула

$$P_m = \frac{0,23 \cdot P_0}{\left[0,145 + a \cdot L/d\right]^2}, \quad (3.13)$$

где a — опытный коэффициент, характеризующий структуру потока струи.

Для заданного $P_{\text{гидр}}$ значение коэффициента a определяют по формуле

$$a = \frac{1}{m - n P_{\text{гидр}}}, \quad (3.14)$$

где $m = 1/a_0$, $a_0 = 0,0625$ для затопленной свободной струи при небольшом гидростатическом давлении, n — опытная величина, в зависимости от давления изменяется от 1,8 до 0,2 при изменении давления P — 4—20 кгс/см² (см. раздел 7.2).

Для расчета дальности и производительности разрушения мерзлых песков затопленными гидромониторными струями А.С. Хрулёвым были получены следующие эмпирические зависимости.

Для дальности размыва

$$L = 26 \frac{d \cdot P^{0,5} \cdot T^{0,5}}{G [t]^{0,5}}, \text{ м}. \quad (3.15)$$

Для производительности размыва

$$\Pi = 0,4 \frac{d^2 P T}{G [t]}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (3.16)$$

где d — диаметр насадки гидромонитора (30—40 мм), мм; P — давление воды на насадке (0,5—2,5 МПа), МПа; G — льдистость пород (250—750 кг/м³), кг/м³; T — начальная температура воды (10—25°C); t — начальная температура породы (−2 ÷ −8°C).

3.2.3 Доставка разрушенных горных пород при СГД

Доставка разрушенных пород к скважине осуществляется путем смыва горной массы гидромониторной струей, самотечного транспортирования и сползания под собственным весом. Выбор способа и параметров доставки зависит от затопленного или незатопленного состояния очистного забоя, мощности продуктивного пласта, угла падения пласта, гидравлической крупности транспортируемой породы и полезного компонента.

Смыв разрушенных пород гидромониторной струей используется при выемке в незатопленных условиях и отсутствии достаточного уклона плотика продуктивного пласта. Этот способ доставки применяется обычно на пластах малой мощности.

Самотечная доставка наиболее эффективна при достаточном естественном уклоне плотика (не менее 3 % в незатопленных условиях). Она также применяется на пластах средней и выше средней мощности (3 м и более), когда на дне камеры можно создать достаточный уклон в сторону пульпоподъемной скважины.

Способ доставки за счет сползания под собственным весом горной массы к пульпоподъемной скважине используется на пластах большой мощности или при большом угле падения продуктивного пласта. Он применяется, когда продуктивный пласт представлен слабо связными породами (железные руды КМА) или структура их предварительно разрушена, например, взрывным способом (скважинная гидродобыча стекольных песков в Румынии и угля из крутопадающих пластов).

Самотечная доставка руды по руслу произвольной формы является наиболее типичной при СГД и применяется для подачи разрушенной руды от забоя до пульпоподъемного механизма. Требуемые параметры вычисляются по уравнению Шези для равномерного движения жидкости

$$Q = s_n C \sqrt{Ri}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (3.17)$$

где Q — постоянный установившийся в потоке расход; s_n — площадь живого сечения потока (м²), различная для разных сечений из-за изменения глубины потока h и размеров русла; u — средняя скорость потока ($u = Q / s_n$, м/с); C — коэффициент, по Н.Н. Павловскому, равный: $C = \frac{1}{n} R^y$; здесь $y = f(nR)$; R — гидравлический

радиус $R = \frac{s_n}{\chi}$, м, χ — периметр смачивания, м; i — гидравли-

ческий уклон, м, $i = \frac{u^2}{C^2 \cdot R} = \frac{Q^2}{s_n^2 \cdot C^2 \cdot R} = \frac{Q^2}{K^2}$, где $K = s_n C \sqrt{R} = \frac{Q}{\sqrt{i}}$

— модуль расхода.

При $R < 1$ м $y = 1,5 \sqrt{n}$; при $R > 1$ м $y = 1,3 \sqrt{n}$; где n — коэффициент шероховатости: для каналов по скальным породам $n = 0,020—0,025$, для каналов с несглаженными скальными стенками $n = 0,030—0,035$, для грубовысеченных каналов $n = 0,040—0,045$.

Если месторождение залегает наклонно, то уклон i известен. Тогда производят проверку обеспечения заданной производительности Q при данном уклоне i . Для конкретного месторождения шероховатость известна. Можно вполне конкретно задать и ширину канала, т.к. известны параметры гидромонитора и размеры добычной выработки.

Когда ставится задача определения уклона, обеспечивающего заданную производительность, пользуются методом последовательного приближения. Для этого задавая величину уклона i и считая известными ширину b и глубину h канала, вычисляют Q . По этим данным строят кривую функции $Q = f(i)$ и по ней определяют уклон, обеспечивающий заданную производительность.

Проверку транспортирующей способности потока осуществляют по формуле И.И. Леви

$$u_c = 1,4 \sqrt{gd_{cp}} \ln \frac{h}{7d_{cp}} \left(\frac{d_{max}}{d_{cp}} \right)^{1/7}, \text{ м/с}, \quad (3.18)$$

где u_c — средняя скорость потока по высоте, м/с; d_{cp} и d_{max} соответственно средний и максимальный размеры частиц горной массы, м.

Если скорость потока $u < u_c$, увеличивают уклон и определяют новую скорость потока u .

Ориентировочные значения уклонов лотков и канав по породе можно определить соответственно по табл. 3.4 и 3.5.

Значения минимальных уклонов

Таблица 3.4

Породы	Лотки и бетонированные канавы	Земляные канавы
Глина	0,015—0,0625	0,02—0,03
Мелкий песок	0,025—0,030	0,03—0,04
Средний песок	0,030—0,035	0,04—0,05
Крупный песок	0,035—0,050	0,05—0,06
Гравий	0,05—0,10	—

Значение минимальных уклонов лотков и канав

Таблица 3.5

Группа пород	Породы	При производительности гидромонитора, м ³ /с			Удельный расход на размыв 1 м ³ породы, м ³
		0,1	0,2	0,3	
I	Предварительно разрыхленные несслежавшиеся породы	Принимаются по соответствующей группе пород			
II	Пески мелкозернистые и пылеватые	—	0,045	0,030	5
	Супеси легкие	0,035	0,030	0,025	6
	Лёсс рыхлый	0,035	0,030	0,025	—
III	Торф разложившийся	0,025	0,020	0,015	—
	Пески средне- и разномзернистые	—	0,05	0,035	7
	Супеси средние	0,030	0,025	0,020	—
	Суглинки легкие	0,030	0,025	0,020	—
	Лёсс болотный	0,030	0,025	0,020	—
	Пески крупнозернистые	—	0,060	0,040	—
	Супеси тяжелые	0,035	0,030	0,025	—
IV	Суглинки средние и тяжелые, глины песчаные (тощие)	0,030	0,025	0,020	9

Продолжение табл. 3.5

Группа пород	Породы	При производительности гидромонитора, м ³ /с			Удельный расход на размыв 1 м ³ породы, м ³
		0,1	0,2	0,3	
V	Песчано-гравийные грунты с содержанием гравия до 25 %	—	0,080	0,070	12
	Глины полужирные с содержанием глинистых фракций 40—50 %	0,035	0,030	0,025	—
VI	Песчано-гравийные с содержанием гравия до 40 %	—	0,120	0,100	—
	Глина полужирная с содержанием глинистых фракций до 50—60 %	0,035	0,030	0,025	14

Как показывает анализ способов ведения добычных работ с различным количеством одновременно работающих добычных камер, доля самотечной гидродоставки варьирует от 100 % (при одиночных камерах) до 20—30 % при многокамерной отработке. Поэтому определение оптимальных параметров самотечной гидродоставки (безнапорного гидротранспорта) отбитой горной массы по днищу камер, исходя из минимальных потерь и разубоживания, позволяет повысить эффективность всего комплекса СГД. Исследованиями установлено, что для самотечного гидротранспорта отбитой горной массы из очистного забоя в количестве $Q_T = 5—8$ м³/ч при расходе воды $Q_B = 70—90$ м³/ч необходимо иметь уклон i не менее 0,1—0,12, что соответствует углу наклона днища очистной камеры 6—7°.

Сложность организации самотечной гидродоставки при СГД заключается, прежде всего, в том, что благоприятные для отработки этим способом месторождения полезных ископаемых часто представлены осадочными пластовыми залежами небольшой мощности, имеющими горизонтальное или близкое к нему залегание. Организовать самотечную доставку отбитой горной массы по горизонтальной подошве камеры весьма затруднительно.

Создание необходимого уклона камеры за счет подстилающих пород малоэффективно, так как при отработке маломощных рудных залежей горизонтального залегания формирование днища в виде перевернутого конуса с уклоном в сторону выдачного устрой-

Основные параметры гидроустановок по данным Главзолота

Категория пород по шкале Главзолота	Коэффициент сцепления, МПа	Пределы изменения давления у насадки, МПа	Коэффициент размыва	Удельный расход воды на размыв 1 м ³ породы
I	0,004—0,008	0,25—0,60	32—40	4—8
II	0,007—0,042	0,30—0,80	55—65	6—12
III	0,019—0,068	0,35—1,00	80—100	8—16
IV	0,036—0,082	0,50—1,30	140—170	12—24
V	0,047—0,094	0,70—1,70	230—270	17—32

ства приводит к большому разубоживанию, если днище формируется в подстилающих породах, или к большим потерям, если днище формируется в рудном пласте.

Эффективность самотечной доставки в этих условиях может быть повышена при траншейной подготовке днища, т.е. при предварительной проходке в подстилающих породах на флангах очистной камеры или по ее центральной оси одной или нескольких пульпоприемных траншей с уклоном днища, достаточным для эффективного самотечного гидротранспортирования, в которые выгоняется струей гидромонитора отбитая в забое горная масса.

Наиболее эффективной, несмотря на некоторое усложнение организации очистных работ и управления добычным снарядами при горизонтальном залегании рудных залежей небольшой мощности, является принудительная *доставка отбитой горной массы струей гидромонитора* одного снаряда к выдачному устройству другого. Такая доставка требует согласованности работы нескольких добычных снарядов (минимум двух).

Высокая производительность и низкий удельный расход воды, возможность периодически осуществлять регулируемую зачистку днища добычных камер, менять объем доставляемой горной массы к выдачному устройству путем изменения угла сектора доставки и глубины погружения струи в отбитый слой руды доказывают высокую эффективность принудительной гидромониторной доставки при СГД. При этом также резко снижается объем разубоживания. Поэтому, при выборе варианта системы разработки необходимо так планировать очистные работы, чтобы отбойка встречным забоем занимала наименьший объем. Сбойку смежных скважин целесообразно проводить узкими выработками. При сбоеке уклона для самотечной гидродоставки необходимо создавать за счет недомыва по рудному пласту. При этом сбойка производится в верхней части рудного пласта, а оставшаяся при подошве часть руды отбивается в дальнейшем попутным забоем.

Очередность выемки отдельных заходок-секторов в очистных камерах необходимо планировать с учетом управлений горным давлением, т.е. вести их отработку так, чтобы предельно допустимый пролет достигался только в самый последний период отработки, что осуществляется оставлением в центре камеры временных целиков, выбираемых лишь во время окончательной зачистки днища.

Расчет процесса доставки в подземной камере при смыве пород гидромониторной струей ведется также с определением максимального и эффективного радиуса действия струи. Максимальный радиус струи при смыве находится по равенству осевой скорости струи и неразмывающей скорости транспортируемой породы. При смыве пород, содержащих полезные ископаемые большой плотности (золото), неразмывающую скорость необходимо принимать с учетом их транспортирования потоком.

Анализ данных о работе многочисленных гидроустановок на открытых разработках получены величины удельных расходов воды для различных категорий пород (табл. 3.6).

Расчет процесса доставки в подземной камере при смыве пород незатопленной гидромониторной струей ведется также с определением максимального и эффективного радиуса действия струи. Максимальный радиус струи при смыве находится по равенству осевой скорости струи и неразмывающей скорости транспортируемой породы. При смыве пород, содержащих полезные ископаемые большой плотности (золото), неразмывающую скорость необходимо принимать с учетом их транспортирования потоком.

На основе экспериментальных данных по смыву гидромониторной струей крупнообломочного материала (20—100 мм) А.С. Хрулевым получена эмпирическая зависимость для определения максимальной дальности размыва

$$L_{\max} = dP^{0.5}, \text{ м.} \quad (3.19)$$

Однако, при отработке подземной камеры дальность доставки обычно меньше максимальной дальности смыва. В этом случае можно воспользоваться эмпирической зависимостью удельного расхода от осевой скорости гидромониторной струи

$$q = \frac{k_c}{u_c}, \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (3.20)$$

где u_c — осевая скорость струи в м/с, k_c — коэффициент, зависящий от мощности смываемого слоя крупнообломочного материала m_c (при $m_c = 0,5 \text{ м}$, $k_c = 32,34$).

3.3. Подъем на поверхность горных пород при СГД

Подъем гидросмеси по скважине производится с помощью эрлифта, гидроэлеватора, землесоса и путем вытеснения гидросмеси из подземной камеры избыточным давлением, создаваемым водой или сжатым воздухом.

Возможность осуществления подъема пульпы при СГД методом противодавления рассмотрим на примере расчета энергетического баланса. По идее подъем руды противодавлением возможен при условии, когда энергия пласта и приносимая энергия нагнетательной воды выше энергии затрачиваемой на подъем пульпы, преодоление сопротивления трения и энергии воды уносимой за пределы скважины. Кроме того, известно, что для успешного подъема кусков руды, скорость пульпы в скважине должна быть выше 2—4 м/сек. Неизменным условием использования метода откачки пульпы является обязательная полная герметичность камеры и скважин. Поэтому этот способ может использоваться при работе в одиночных камерах. Потом практическое распространение получили эрлифт и гидроэлеваторные способы подъема руд.

Эффективность СГД в значительной степени определяется наличием высокопроизводительного, надежного и в то же время конструктивно простого оборудования для подъема пульпы с различной глубины. В наибольшей степени поставленным требованиям отвечают подъемные устройства двух типов: гидроэлеваторное и эрлифтное.

Эрлифтный подъем при скважинной гидродобыче, в основном, не отличается от условий работы эрлифта при водоотливе из шахт и гидроподъеме пульпы при добыче полезных ископаемых со дна морей и океанов. Наряду с существенными достоинствами эрлифта

(простота конструкции, дешевизна, возможность регулирования его работы) существуют проблемы, ограничивающие возможность его применения. При использовании эрлифта в качестве основного подъемного устройства при ведении работ осушенным забоем возникает необходимость в углублении эксплуатационной скважины для обеспечения погружения воздушной форсунки эрлифта, и, как следствие, требуются дополнительные затраты на бурение. Поэтому эрлифт рекомендуется в качестве основного подъемного аппарата для разработки месторождений способом СГД при технологической схеме с затопленным очистным пространством и с использованием плавучих свойств руд.

Эрлифтный подъем отличается надежностью и простотой обслуживания при эксплуатации. Существуют различные типы эрлифтов, но, в целом, они отличаются только взаиморасположением воздуховода, водовода и пульповода. Особую роль играет расположение места ввода воздуха по длине пульповода. Производительность эрлифта определяется не только глубиной ввода воздуха, но и диаметром пульпоподъемного трубопровода.

Для расчета параметров компрессорного оборудования необходимо установить следующие показатели.

Забойное давление, которое определяется давлением на устье скважины плюс давление столба воды $\text{т}/\text{м}^3$.

Давление в пласте представляет собой сумму статического пластового давления и давления, создаваемого нагнетательным насосом. Эрлифт подбирается на основании расчета с учетом потерь.

Без учета потерь на трение в подъемной колонне высота подъема пульпы h , под действием забойного давления определяется отношением забойного давления к объемам всаса пульпы. Т.е. эрлифт проектируется для подъема пульпы на высоту равную разности глубин скважин и высоты подъема пульпы по скважине.

Глубину погружения форсунки эрлифта под динамический уровень определяет эффективность работы эрлифта. Коэффициент относительного погружения форсунки под динамический уровень определяется по формуле глубины погружения форсунки эрлифта под уровень жидкости (динамический) к длине воздушной трубы (от излива до форсунки эрлифта).

Динамический уровень несколько отличается от статического, так как при работе скважины создается некоторая депрессия, т.е. понижение давления, зависящее от производительности эрлифта.

Процесс откачки руды отличается от процесса откачки нефти и воды. Во-первых, наряду с депрессией на башмаке подъемной колонны создается репрессия на пласт за счет закачки воды. Происходит наложение потенциалов поля нагнетания и откачки. Во-вторых, за единицу времени количество нагнетаемой воды значительно превышает количество отбираемой руды. На практике коэффициент относительного погружения форсунки измеряется от 0,25 до 0,95. Глубина погружения форсунки выбирается также в зависимости от параметров используемых компрессоров.

Пусковое давление. В начальный момент выхода сжатого воздуха из форсунки эрлифта в воздушной трубе происходит некоторое увеличение давления, примерно на 3—10 %.

Существует несколько методов снижения пускового давления: использование пусковых клапанов, понижение давления нагнетаемой воды и др.

Удельный расход воздуха определяется ориентировочно, его можно определить по формуле А.П. Крылова.

Для того чтобы эрлифтная установка обеспечивала подъем на поверхность твердых частиц, необходимо, чтобы скорость воды во всасывающей трубе превышала гидравлическую крупность наибольших из поднимаемых частиц, а породы, поступающие к всасывающему устройству эрлифта, захватывались потоком и направлялись в подъемную трубу.

Применение в качестве подъемных устройств при СГД гидроэлеваторов обусловлено их положительными свойствами: подъем гидросмеси из незатопленной камеры, простота конструкции, отсутствие вращающихся и трущихся деталей, относительная дешевизна, возможность эжектирования пульпы разной консистенции, отсутствие в эксплуатационной скважине кабелей, пусковой аппаратуры, отсутствие динамической нагрузки на силовые насосы даже в случае срыва работы гидроэлеватора. Но, наряду с положительными качествами, гидроэлеваторы имеют ряд недостатков: относительно низкий коэффициент полезного действия, высокий абразивный износ камеры смешения, ограничения по крупности поднимаемых кусков породы диаметром камеры смешения, применение высоконапорных и энергоемких насосов при увеличении высоты подъема.

Обводненность и водопроницаемость во многом определяют возможность применения того или иного способа подъема гидросмеси. Незначительный водоприток в подземную камеру благопри-

ятствует применению гидроэлеваторного или землесосного способов подъема. На ряде месторождений, имеющих разгрузку подземных вод через ранее пройденные открытые или подземные горные выработки или ограниченный источник питания подземных вод, возможна отработка подземной камеры в воздушной среде. МГРИ была испытана совместная работа гидроэлеватора и эрлифта, что позволило вести размыв полезного ископаемого свободными незатопленными струями.

3.3.1. Гидравлическое всасывание руды

Процесс всасывания твердых частиц в зависимости от соотношения скорости потока u_r и скорости трогания частиц $u_{0\text{тв}}$ можно разделить на следующие фазы: увлечение отдельных частиц при $u_r \geq u_{0\text{тв}}$, массовое движение при $u_r \geq (2—3) u_{0\text{тв}}$ с образованием начальной воронки всасывания и массовое движение при $u_r \geq (3—5) u_{0\text{тв}}$ с образованием предельной воронки всасывания с диаметром D_B . Здесь скорость трогания частиц, $u_{0\text{тв}}$ приблизительно равна $(2—3) u_p$. Например, для разнозернистых песков u_p размывающая скорость 1—2 м/с, для гравия и гальки $u_p = 2—2,5$ м/с.

Размыв частиц начинается движением их по радиусу к вертикальной оси наконечника. Скорость их движения растет от периферии к центру отверстия наконечника. На рис. 3.3 показаны изотакси движения гидросмеси.

Для обеспечения непрерывности процесса всасывания необходимо поддерживать некоторое предельное расстояние между входной плоскостью всасывающего наконечника и породой $h_{п.}$. Это расстояние зависит от удельного веса породы, гранулометрического состава, скорости всасывания $u_{вс}$ и геометрических форм наконечника.

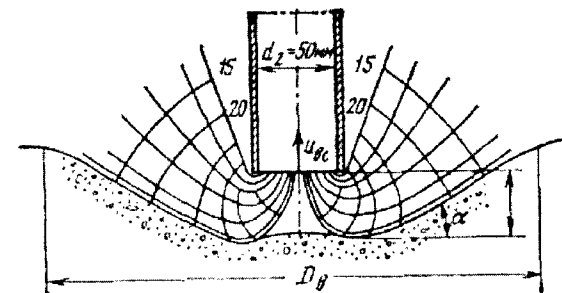


Рис. 3.3. Конфигурация зоны всасывания и линии изотакси

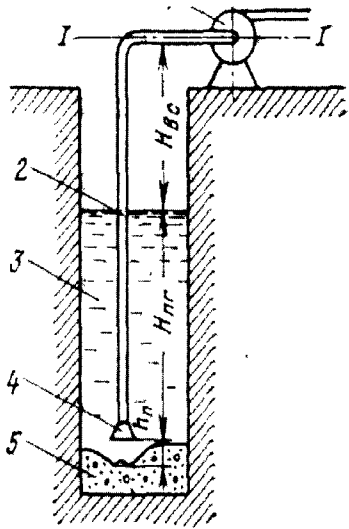


Рис. 3.4. Схема всасывающего трубопровода с наконечником землесосной установки:

1 — землесос; 2 — всасывающая труба; 3 — затопленный водой забой; 4 — наконечник; 5 — слой разрушенной породы; $H_{вс}$ — высота всасывания; $H_{пг}$ — высота погружения всасывающего трубопровода под уровень воды в забое; h_n — расстояние наконечника до слоя руды

Всасывание породы, перемещение гидросмеси по всасывающему трубопроводу обеспечиваются вакуумметрической высотой всасывания

$$H_{в.в.} = \frac{(p_a - p)}{\gamma_{г}}, \quad (3.21)$$

где p_a — атмосферное давление; p — абсолютное давление по оси всаса; $\gamma_{г}$ — плотность гидросмеси.

Баланс энергии во всасывающей линии применительно к схеме, изображенной на рис. 3.3, можно представить в следующем виде

$$\frac{(p_a - p)}{\gamma_{г}} = H_{вс} + \sum h + \frac{u_{вс}^2}{2g} + H'_{пг}, \quad (3.22)$$

где h — суммарные потери напора на преодоление сопротивлений движению; $\frac{u_{вс}^2}{2g}$ — динамический напор в сечении 1—1;

$H'_{пг} = H_{пг} \left(\frac{\gamma_{г}}{\gamma_{в}} - 1 \right) \frac{\gamma_{в}}{\gamma_{г}}$ статический напор во всасывающей трубе на высоте погружения $H_{пг}$ за счет разницы веса столба ($\gamma_{г} - \gamma_{в}$).

Уравнение является основным для описания процесса всасывания. Так, умножив обе части уравнения на $\gamma_{г}/\gamma_{в}$, можно получить высоту всасывания

$$H_{вс} = \frac{(p_a - p)}{\gamma_0} - \sum h \frac{\gamma_{г}}{\gamma_{в}} - \frac{u_{вс}^2}{2g} \cdot \frac{\gamma_{г}}{\gamma_{в}} - H_{пг} \left(\frac{\gamma_{г}}{\gamma_{в}} - 1 \right). \quad (3.23)$$

Если обозначить: $(p - p_n)\gamma_{г} = H'_{вв}$ — критический вакуум, $H_{тр}$ — потери напора на трение, $H_{д}$ — динамические потери напора, то

выражение для критического насыщения всасываемой гидросмеси можно записать в следующем виде

$$\gamma_{г} = \gamma_{г.кр} = \frac{(H'_{в.в.} + H_{п.г.} - H_{тр} - H_{д})}{H_{вс} + H_{пг}}, \quad (3.24)$$

На практике допустимые величины $H_{в.в.}$ или $\gamma_{г}$ должны приниматься меньше расчетных на 7—10 %.

Всасывающая способность установки в отношении геодезической высоты подачи гидросмеси лимитируется кавитационными явлениями, вызывающими разрыв сплошности потока. Если положить $p = p_n = 0,002 - 0,0025$ МПа (давление паров воды при $t = 20^\circ\text{C}$), то можно получить максимальную высоту подачи для данных значений $u_{вс}$, $\gamma_{г}$ и заданной конструкции всаса.

При СГД весьма важное значение имеют размеры воронки всасывания. Диаметр воронки Б.Э. Фридман рекомендует определять на основании опытных данных

$$D_{вор} = \sqrt[3]{Re} \frac{D_{вс}}{\alpha \sqrt[3]{\frac{d_{срел}}{d_3}}}, \quad (3.25)$$

где $Re = \frac{u \cdot D_{вс}}{\nu}$ — число Рейнольдса, ν — кинематическая вязкость; $D_{вс}$ — диаметр всасывающей трубы; $d_{срел}$ — средний размер всасываемых частиц; d_3 — эталонный размер частиц, $d_3 = 1,25 - 1,50$ мм; α — угол естественного откоса породы в зоне всасывания, $\alpha = 4,59$ рад.

Минимальный диаметр всасывающего устройства зависит от максимальных размеров куска руды. Для предупреждения образования пробки во всасе желательно, чтобы диаметр всаса был в 2—3 раза больше максимального размера куска.

Следовательно, для успешной добычи руды через скважины необходимо увеличить зону всасывания добычных агрегатов за счет:

- 1) увеличения скорости всасывания;
- 2) оборудования у всаса взвешивающего породу гидромонитора;
- 3) перемещения всаса у скважины в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Расчет пульпоподъемного снаряда при скважинной гидродобыче состоит из расчета гидродиффузионного рыхлителя, всасывающего наконечника и собственно пульпоподъемника (эрлифта, гидроэлеватора и т.д.).

Наибольшая производительность подъема обеспечивается при заглублении всасывающего наконечника под слой руды. Гидродиффузионный рыхлитель служит для пульпоприготовления при всасывании осевших пород в нижней части пульпоподъемника. Задача диффузионного рыхлителя — обеспечить всасывание гидросмеси с высокой плотностью и с требуемой производительностью.

При погружении насадки в грунт происходит размыв с образованием котлована, т.е. размывтый грунт выносится и откладывается за верхней бровкой котлована. Однако при погружении насадки ниже определенной глубины $h_{кр}$ процесс котлованообразования прекращается и наступает взвешивание и перемещение (диффузия) масс грунта. Дальнейшее погружение насадки приводит к созданию неподвижного объема грунта над зоной диффузии.

В зоне диффузии грунт перемещается по замкнутой траектории. Сначала грунт, увлекаемый струей воды, движется горизонтально, затем, потеряв энергию, поток поворачивает вертикально вверх. Поступающий на поверхность грунт оттесняется к насадке и вновь вовлекается в движение. Г.Н. Сизов выделяет три области в зоне диффузии: область струйного течения, переходная зона и ядро уплотнения. Процентное содержание твердого в диффузионной зоне колеблется от 35 до 55 %, в среднем — 45 %.

Размеры зоны диффузии зависят от напора струи, диаметра насадки, заглубления ее в грунт.

Для стабильной работы эрлифта или гидроэлеватора расход воды через гидромониторную насадку для взвешивания породы в зоне всасывания должен быть равен двойной весовой производительности пульпоподъемника по поднимаемой породе.

При расчете всасывающего наконечника определяется его диаметр, обеспечивающий подъем полезного ископаемого при заданной производительности и плотности гидросмеси.

Скорость движения гидросмеси во всасывающем наконечнике $u_{вс}$ должна превышать величину гидравлической крупности w_0 поднимаемых кусков полезного ископаемого

$$u_{вс} = 4Q / \pi D^2 > w_0. \quad (3.26)$$

Гидравлическая крупность для частиц диаметром 1—200 мм может быть определена по формуле О.М. Тодеса и Р.Б. Розенбаума

$$w_0 = \frac{v \cdot Ar}{d_{ш} (18 + 0,61 \sqrt{Ar})}, \quad (3.27)$$

где $Ar = \frac{g(\rho_r - \rho)d_{ш}^3}{\rho v^2}$ — критерий Архимеда для частиц диаметром

$d_{ш}$ с плотностью ρ_r , ρ и v — плотность и вязкость жидкости.

Для частиц неправильной формы применяют геометрический коэффициент формы k_ϕ

$$k_\phi = \frac{d_r^2}{d_{ш}^2}. \quad (3.28)$$

Для окатанного песка $k_\phi = 1,17$, для острозернистого песка $k_\phi = 1,5$ — $1,7$, для угля $k_\phi = 3$.

Гидравлическая крупность зависит от стесненности движения частиц, характеризующейся влиянием стенок всасывающего наконечника и влиянием соседних частиц.

Коэффициент, учитывающий влияние стенок E_D и коэффициент, учитывающий объемную концентрацию частиц E_β определяются по формулам

$$E_D = \frac{w_{ост}}{w_0} = \left(1 - \frac{d_r^2}{D^2}\right)^{1,5}, \quad (3.29)$$

$$E_\beta = \frac{w_{осм}}{w_0} = (1 - \beta)^n, \quad (3.30)$$

где β — объемная концентрация частиц, n — опытный коэффициент, по данным Д.М. Минца с песком и гравием $n = 2,25$ — $4,5$ (в среднем 3).

При разработке месторождений металлов, обладающих большей плотностью, чем вмещающие породы, величина гидравлической крупности должна определяться как для подъема максимального куска породы, так и для максимального размера куска поднимаемого металла.

3.3.2. Эрлифтный подъем руды при СГД

При разработке месторождений методом СГД эффективным средством откачки руды является эрлифт. От компрессора по воздухопроводу к форсунке подводится сжатый воздух, который, смешиваясь с пульпой, выдает ее на поверхность.

Главные достоинства эрлифта — простота, надежность в работе, отсутствие движущихся частей, возможность свободного выноса крупных частиц породы. Недостатки эрлифта — затопленная подземная камера, низкий к.п.д. и необходимость дополнительного применения компрессора.

Специфические особенности процесса откачки пульпы обуславливают необходимость проведения специальных исследований. Однако приближенные значения параметров этого процесса могут быть получены на базе исследований и опыта откачки эрлифтом воды, нефти, пульпы.

В настоящее время не существует единого взгляда на физическую сущность процесса эрлифтирования. Это объясняется значительными теоретическими трудностями, так как закономерности, справедливые для движения одного типа смеси, оказываются неприемлемыми для других. Из известных методов расчета процесса откачки пульпы чаще всего применяют метод, предложенный А.П. Крыловым и В.Г. Гейером.

При расчете параметров эрлифта по формуле Гейера определяют расход воздуха на подъем гидросмеси по формуле

$$Q_{\text{возд}} = \frac{Q_{\text{г}} H \gamma_{\text{в}}}{1380 \gamma_{\text{г}} \eta \lg(0,1h + 1)}, \quad (3.31)$$

где $Q_{\text{возд}}$ и $Q_{\text{г}}$ — расход воздуха, м³/мин и расход гидросмеси, м³/ч; H и h — высота подъема и гидростатический уровень воды над воздушной форсункой эрлифта, м; $\gamma_{\text{в}}$ и $\gamma_{\text{г}}$ — плотность воды и гидросмеси, т/м³; η — к.п.д. эрлифта, который может быть принят по данным, приведенным ниже.

КПД эрлифта

$\alpha = \frac{h}{(h + H)}$	0,1—0,15	0,15—0,25	0,25—0,35	0,35—0,5
$\eta_{\text{из}}$	0,25	0,32	0,36	0,4

Максимальное давление воздуха, подаваемого на эрлифт равно $P_{\text{воз}} = h + 0,2$ МПа.

Диаметр пульпоподъемной ($D_{\text{эр}}$) трубы определяются по формуле

$$D_{\text{эр}} = \left(\frac{Q_{\text{г}}}{k\alpha} \right)^{0,4}, \text{ мм.} \quad (3.32)$$

При значениях $\alpha = 0,2—0,45$, коэффициент $k = 0,24$. (При $Q = 50—300$ м³/ч, $H = 100—300$ м).

Данный расчет справедлив при условии подъема гидросмеси по пульпоподъемной трубе круглого сечения и диаметре эрлифта, определяемом по формуле 3.32. Однако при скважинной гидродобыче геометрические размеры и конструкция эрлифта, а также параметры применяемого компрессора могут существенно отличаться от оптимальных. Для этих условий А.С. Хрулевым предлагается методика расчета, основанная на уравнении баланса энергии вне эрлифта и внутри пульпоподъемной трубы. Данный подход позволяет рассчитывать эрлифтный подъем с большой вариацией конструктивных и технологических параметров.

Методика расчета была опробирована по опытным и натурным данным для эрлифта с коэффициентами погружения 0,5—0,8.

При расчете эрлифта определяется его производительность по пульпе $Q_{\text{п}}$ и по твердому $Q_{\text{т}}$. Для этого задаются значениями расхода воздуха $Q_{\text{воз}}$, длиной и диаметром всасывающего наконечника $H_{\text{вс}}$ и $D_{\text{вс}}$, высотой эрлифта $H_{\text{эр}}$, высотой погружения эрлифта под уровень воды в скважине $H_{\text{в}}$, диаметром пульпоподъемной трубы $D_{\text{эр}}$ и плотностью всасываемой пульпы $\rho_{\text{п}}$.

1. Используя закон сохранения энергии, уравнение баланса энергии в эрлифтной трубе и вне нее на уровне грунтозабора можно представить в виде

$$E_{\text{внеш}} = E_{\text{вс}} + E_{\text{эр}} + E_{\text{гидр}}, \quad (3.33)$$

где $E_{\text{внеш}}$ — энергия вне эрлифта; $E_{\text{вс}}$ — энергия, затрачиваемая при движении гидросмеси во всасывающем наконечнике эрлифта от места грунтозабора до воздушной форсунки; $E_{\text{эр}}$ — энергия, затрачиваемая при движении гидросмеси в эрлифте выше воздушной форсунки; $E_{\text{гидр}}$ — энергия, затрачиваемая на преодоление гидравлического сопротивления при движении гидросмеси.

2. Энергию вне эрлифта можно определить через вес столба воды в эрлифте до подачи в него воздуха

$$E_{\text{внеш}} = m_{\text{в}} g H_{\text{в}},$$

где $m_{\text{в}}$ — масса воды в эрлифте без подачи воздуха

$$m_{\text{в}} = V \rho_{\text{в}},$$

где V — объем воды в эрлифте без подачи воздуха

$$V = S_{\text{эр}} H_{\text{в}},$$

где $S_{\text{эр}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{эр}}^2$ — площадь сечения эрлифтной трубы.

Таким образом, энергия вне эрлифта составит

$$E_{\text{внеш}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{эр}}^2 H_{\text{в}}^2 g \rho_{\text{в}}. \quad (3.34)$$

3. Энергия во всасывающем наконечнике эрлифта определяется весом столба пульпы $m_{\text{вс}}$ и скоростью ее движения $u_{\text{вс}}$

$$E_{\text{вс}} = m_{\text{вс}} g H_{\text{вс}} + \frac{m_{\text{вс}} u_{\text{вс}}^2}{2}.$$

Масса пульпы во всасывающем наконечнике равна

$$m_{\text{вс}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{вс}}^2 H_{\text{вс}} \rho_{\text{п}},$$

а скорость во всасывающем наконечнике расходу всасываемой пульпы деленному на площадь сечения всасывающего наконечника

$$u_{\text{вс}} = \frac{4Q_{\text{п}}}{\pi D_{\text{вс}}^2 3600}.$$

Отсюда энергия во всасывающем наконечнике составит

$$E_{\text{вс}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{вс}}^2 \rho_{\text{п}} H_{\text{вс}}^2 g + \frac{2\rho_{\text{п}} H_{\text{вс}} Q_{\text{вс}}^2}{\pi D_{\text{вс}}^2 3600^2}. \quad (3.35)$$

4. Энергия при движении гидросмеси в эрлифте выше воздушной форсунки определяется весом столба трехфазной гидросмеси $m_{\text{эр}}$ и скоростью ее движения $u_{\text{эр}}$

$$E_{\text{эр}} = m_{\text{эр}} g H_{\text{эр}} + \frac{m_{\text{эр}} u_{\text{эр}}^2}{2}.$$

Масса пульпы выше воздушной форсунки равна

$$m_{\text{эр}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{эр}}^2 H_{\text{эр}} \rho_{\text{эр}},$$

где плотность трехфазной гидросмеси в эрлифте определяется выражением

$$\rho_{\text{эр}} = \frac{Q_{\text{п}} \rho_{\text{п}}}{(Q_{\text{п}} + K Q_{\text{воз}})}, \quad (3.36)$$

где K — коэффициент расхода воздуха, обусловленный его сжимаемостью под действием столба воды

$$K = 0,5 \left(\frac{10}{10 + H_{\text{в}}} \right) + 1.$$

Скорость в эрлифте равна расходу трехфазной гидросмеси, деленному на площадь сечения эрлифта

$$u_{\text{эр}} = \frac{4(Q_{\text{п}} + K Q_{\text{воз}})}{\pi D_{\text{эр}}^2 3600}. \quad (3.37)$$

Отсюда энергия в эрлифте выше воздушной форсунки составит

$$E_{\text{эр}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{эр}}^2 \rho_{\text{п}} H_{\text{эр}}^2 g + \frac{2\rho_{\text{п}} Q_{\text{п}} H_{\text{эр}} (Q_{\text{п}} + K Q_{\text{воз}})}{\pi D_{\text{эр}}^2 3600^2}. \quad (3.38)$$

5. Энергия, затрачиваемая на преодоление гидравлического сопротивления

$$\begin{aligned} E_{\text{гидр}} &= m_{\text{вс}} g h_{\text{гидр}}^{\text{вс}} + m_{\text{эр}} g h_{\text{гидр}}^{\text{эр}} = \\ &= \frac{\pi}{4} D_{\text{вс}}^2 H_{\text{вс}} \rho_{\text{п}} g h_{\text{гидр}}^{\text{вс}} + \frac{\pi}{4} D_{\text{эр}}^2 H_{\text{эр}} \rho_{\text{эр}} g h_{\text{гидр}}^{\text{эр}}, \end{aligned} \quad (3.39)$$

где $h_{\text{гидр}}^{\text{вс}}$ и $h_{\text{гидр}}^{\text{эр}}$ — гидравлическое сопротивление во всасывающем наконечнике и эрлифтной трубе выше воздушной форсунки

$$h_{\text{гидр}}^{\text{вс}} = \lambda_{\text{вс}} \frac{u_{\text{вс}}^2 H_{\text{вс}}}{2gD_{\text{вс}}}, \quad (3.40)$$

$$h_{\text{гидр}}^{\text{эр}} = \lambda_{\text{эр}} \frac{u_{\text{эр}}^2 H_{\text{эр}}}{2gD_{\text{эр}}}, \quad (3.41)$$

где $\lambda_{\text{вс}}$ и $\lambda_{\text{эр}}$ — коэффициенты гидравлического сопротивления во всасывающем наконечнике и в эрлифте рассчитываются в зависимости от числа Рейнольдса по известным методикам.

6. Подставляя выражения (3.34, 3.35, 3.38 и 3.39) в (3.33), получим

$$\begin{aligned} E_{\text{внеш}} &= \frac{\pi}{4} D_{\text{эр}}^2 H_{\text{в}}^2 g \rho_{\text{в}} = \frac{\pi}{4} D_{\text{вс}}^2 \rho_{\text{п}} H_{\text{вс}}^2 g + \frac{2\rho_{\text{п}} H_{\text{вс}} Q_{\text{вс}}^2}{\pi D_{\text{вс}}^2 3600^2} + \\ &+ \frac{\pi}{4} D_{\text{эр}}^2 \rho_{\text{п}} H_{\text{эр}}^2 g + \frac{2\rho_{\text{п}} Q_{\text{п}} H_{\text{эр}} (Q_{\text{п}} + KQ_{\text{воз}})}{\pi D_{\text{эр}}^2 3600^2} + \\ &+ \frac{\pi}{4} D_{\text{вс}}^2 H_{\text{вс}} \rho_{\text{п}} g h_{\text{гидр}}^{\text{вс}} + \frac{\pi}{4} D_{\text{эр}}^2 H_{\text{эр}} \rho_{\text{эр}} g h_{\text{гидр}}^{\text{эр}}. \end{aligned} \quad (3.42)$$

7. Из уравнения (3.42) находится значение производительности эрлифта по гидросмеси $Q_{\text{п}}$ для заданного значения расхода воздуха $Q_{\text{воз}}$, при котором выполняется данное равенство.

8. Из полученного ряда значений $Q_{\text{п}}$ выбирают максимальное $Q_{\text{п}}^{\text{макс}}$ и соответствующего ему значения $Q_{\text{воз}}$.

9. Производительность эрлифта по твердому $Q_{\text{т}}$

$$Q_{\text{т}} = \frac{Q_{\text{п}} (\rho_{\text{п}} - \rho_{\text{в}}) \rho_{\text{т}}}{(\rho_{\text{т}} - \rho_{\text{в}})}, \quad (3.43)$$

где $\rho_{\text{п}}$ — плотность поднимаемой породы, для песка $\rho_{\text{п}} = 2650$ кг/м³; $\rho_{\text{в}}$ — плотность воды.

3.3.3. Гидроэлеваторный подъем

Принципиальная схема гидроэлеваторного подъема показана на рис. 3.5. Рабочая вода из насадки гидроэлеватора, создавая вакуум в приемной камере, засасывает поток гидросмеси и, смешиваясь с ним через диффузор, по трубам выдает на поверхность.

Гидроэлеваторы рассчитываются и изготавливаются индивидуально для конкретных условий. На эффективность работы гидроэлеватора значительное влияние оказывают его конструктивные параметры. Существует целый ряд методик расчета гидроэлеватора.

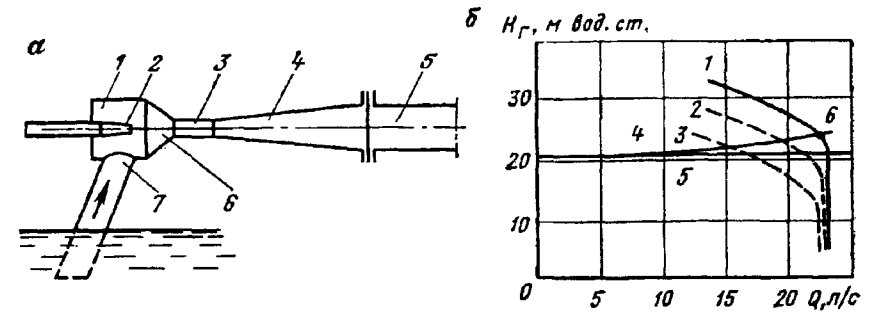


Рис. 3.5. Принципиальная схема гидроэлеваторного подъема:

a — центральный гидроэлеватор; 1 — приемная камера; 2 — насадка; 3 — смешивательная камера; 4 — диффузор; 5 — нагнетательный трубопровод; 6 — конфузор; 7 — всасывающий патрубок; *b* — характеристики гидроэлеватора; 2, 3 — соответственно при $P = 4,0; 3,5; 3,0$ МПа; 4 — характеристика нагнетательного трубопровода; 5 — высота подачи гидросмеси; 6 — рабочая точка при $\gamma_r = 1300$ кг/м³

При проектировании конструкции гидроэлеватора и расчете его параметров необходимо достичь оптимизации соотношения расходов перекачиваемой и рабочей жидкостей α , а также площадей поперечного сечения камеры смешения и всасывающей трубы m , что определяется коэффициентом полезного действия гидроэлеватора, который можно представить в виде

$$\eta = \delta \alpha \beta, \quad (3.44)$$

где β — отношение напора гидроэлеватора к напору воды на насадке; δ — отношение плотностей перекачиваемых и рабочих флюидов.

Кроме того, на к.п.д. гидроэлеватора оказывает влияние подпор перекачиваемой гидросмеси при работе гидроэлеватора в затопленной добычной камере, а также крупность транспортируемой руды.

Рабочие характеристики гидроэлеватора аналогичны таковым по воде и гидросмеси для центробежных машин, но их отличие заключается в больших, потерях энергии в самом аппарате. Экспериментально установлено, что к.п.д. гидроэлеватора не превышает 0,4.

Для каждого соотношения m в напорной характеристике гидроэлеватора имеются вертикальные участки. Срыв напорной характеристики происходит, как только давление в потоке транспортируемой жидкости на входе в камеру смешения гидроэлеватора становится равным давлению насыщенных паров при

данной температуре. Тогда образуются пустоты, нарушается сплошность потока и начинается интенсивный процесс парообразования. Дальнейшего понижения давления на входе в камеру смешения произойти не может и поэтому скорость транспортируемого потока тоже не может увеличиться. Гидроэлеватор в этом случае работает в режиме кавитации. Снижение противодавления за диффузором, увеличение давления рабочей воды перед насадкой, а, следовательно, и ее расхода не приводят к увеличению его производительности. Таким образом, максимальная производительность гидроэлеватора ограничивается кавитационным режимом его работы.

Основные характеристики гидроэлеваторного снаряда — коэффициент эжекции (расхода) α , коэффициент напора β , основной геометрический параметр m и статический коэффициент полезного действия гидроэлеватора $\eta_{ст}$ определяется по формулам

$$\alpha = \frac{Q_r \gamma_r}{Q_o \gamma_o}, \quad (3.45)$$

$$\beta = \frac{H_r - H_1}{H_o}, \quad (3.46)$$

$$m = \frac{d_k^2}{d_o^2}, \quad (3.47)$$

$$\eta_m = \frac{\alpha \beta}{1 - \beta}, \quad (3.48)$$

где Q_r и Q_o — расход эжектируемой гидросмеси и расход воды через насадку гидроэлеватора; γ_r и γ_o — плотность эжектируемой гидросмеси и воды; H_o , H_r и H_1 — напор воды на насадке гидроэлеватора, напор, развиваемый гидроэлеватором (высота подъема) и высота затопления гидроэлеватора; D_k и d_o — диаметры камеры смешения и насадки гидроэлеватора.

При расчете гидроэлеваторного подъема по методике П.Н. Каменева задаются высотой подъема гидроэлеватора H_r (с учетом гидравлических потерь по длине гидроэлеватора), весовым расходом эжектируемой гидросмеси $Q_r \gamma_r$ и диаметром камеры смешения, принимаемой с учетом крупности поднимаемых пород d_k .

Определяют скорость в камере смешения, которую необходимо иметь для подъема на высоту H_r

$$u_k = \sqrt{\frac{2gH_r}{1 + \zeta_k}}, \quad (3.49)$$

где $\zeta_k = 0,35$ — коэффициент сопротивления в камере смешения и диффузоре.

Определяют общий расход гидросмеси через камеру смешения

$$Q_\Sigma = \frac{\pi \cdot d^2}{4} u_k. \quad (3.50)$$

Определяют расход воды через насадку гидроэлеватора и коэффициент эжекции

$$Q_o = Q_\Sigma - Q_r \text{ и } \alpha = \frac{Q_r \gamma_r}{Q_o \gamma_o}. \quad (3.51)$$

Определяют осредненную скорость в начале смешиваемого потока

$$u_k^* = (1 + \zeta_k) u_k. \quad (3.52)$$

Определяют скорость и давление воды на выходе из насадки гидроэлеватора

$$u_o = (1 + \alpha) u_k^*, \quad (3.53)$$

$$H_o = (1 + \zeta_o) \frac{u_o^2}{2g} \quad (\zeta_o = 0,08). \quad (3.54)$$

Определяют диаметр насадки гидроэлеватора d_o и параметры m и β

$$d_o = \sqrt{\frac{4Q_o}{\pi \cdot V_o}}; \quad m = \frac{d_k^2}{d_o^2}, \quad \beta = \frac{H_r}{H_o}.$$

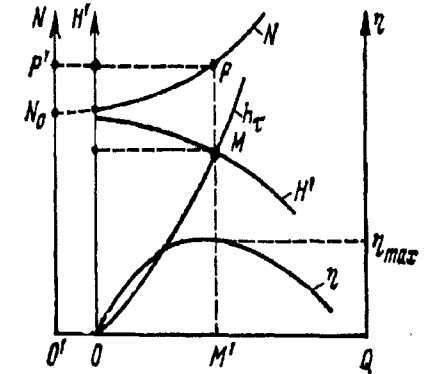


Рис.3.6. Типовая рабочая характеристика землесоса:
 $H-Q$ — напорная; $N-Q$ — мощностная; $\eta-Q$ — к.п.д.; $h-Q$ — сетевая;
 M — рабочая точка землесоса

Статический к. п. д. гидроэлеватора составит

$$\eta_{ст} = \frac{\alpha \cdot \beta}{1 - \beta}.$$

Насосы выбираются с учетом дополнительного расхода воды на гидромонитор (150—200 м³/ч) и потерь давления от насоса до гидроэлеваторной насадки.

3.3.4. Землесос

Землесосы являются наиболее распространенными аппаратами гидравлического транспортирования самых разнообразных горных пород и относятся к разновидности турбомашин, конструкция которых имеет специфику, обусловленную наличием твердого материала в транспортируемой гидросмеси. Подъем гидросмеси из зумпфа до выходного отверстия рабочего колеса осуществляется за счет разности между атмосферным давлением и давлением у входа в рабочее колесо. Силы, выбрасывающие гидросмесь из землесоса в напорный трубопровод, возникают за счет энергии, подводимой к валу землесоса от двигателя и передаваемой потоку гидросмеси через лопасти рабочего колеса.

Манометрическая высота подачи землесосом чистой воды с учетом его к.п.д. будет

$$H'_0 = \eta_{гидр} \frac{u_2 C_2 \cos \alpha_2 - u_1 C_1 \cos \alpha_1}{g} \cdot \frac{\gamma_r}{\gamma_b}, \quad (3.55)$$

где u_1 и u_2 — окружные скорости потока на входе и выходе рабочего колеса; C_1 и C_2 — абсолютная скорость потока на входе и выходе рабочего колеса; α_1 и α_2 — соответственно углы между векторами скоростей u_1 — C_1 и u_2 — C_2 , γ_r, γ_b — плотность гидросмеси и воды; $\eta_{гидр}$ — гидравлический к.п.д. землесоса.

Типовая рабочая характеристика землесоса представлена на рис. 3.6. Здесь точка M пересечения кривой расхода и напора $Q—W$ с характеристикой пульповода $Q—h$ называется рабочей точкой. Обычно характеристики землесоса и трубопровода выбираются такими, чтобы абсцисса рабочей точки M пересекала кривую $Q—\eta_r$ в точке η_{max} (максимума к.п.д.).

С увеличением плотности гидросмеси увеличиваются развиваемый землесосом напор, потребляемая мощность, потери напора в нагнетательной линии и уменьшаются расход к.п.д. и высота всасывания гидросмеси.

Для практических расчетов при подборе землесосов пользуются следующими формулами

$$H_0 = H'_0 \gamma_r (1 - 0,25) K, \quad (3.56)$$

$$N_b = \frac{Q \gamma_r H'_0}{102}, \quad (3.57)$$

$$\eta = \frac{Q \gamma_r H'_0}{102 N_b}, \quad (3.58)$$

где Q — расход гидросмеси; N_b — мощность на валу; K — консистенция гидросмеси.

Расчет гидроэлеваторно-эрлифтных агрегатов для отработки глубоко залегающих месторождений. Проведенные опытно-промышленные исследования и выполненный на их основе технико-экономический анализ позволяют предложить для подъема пульпы с глубин более 90 м комбинированное подъемное устройство гидроэлеватор-эрлифт.

Расчет работы эрлифта с подпором от гидроэлеватора может вестись двумя путями: 1) по принятому гидроэлеватору рассчитываются параметры эрлифта, 2) по принятому эрлифту рассчитываются параметры гидроэлеватора.

В связи с тем, что в условиях СГД рабочий режим подъемных систем гидроэлеватор-эрлифт задает гидроэлеватор, предлагается первый вариант расчета. Заданной величиной является глубина залегания продуктивного пласта. Исходя из данной глубины отработки продуктивного пласта и максимальной высоты подъема пульпы гидроэлеватором, определяем необходимую глубину погружения воздуховодной трубы

$$H = K \cdot h,$$

где h — расстояние от динамического уровня, создаваемого гидроэлеватором, до точки излива; K — коэффициент погружения смесителя, равный отношению глубины погружения смесителя (форсунки) к высоте подъема H (обычно изменяется в пределах 1,9—3,0).

Тогда удельный расход сжатого воздуха, м³/м³

$$g_B = \frac{h}{23\eta/g \frac{h(K-1)+10}{10}}, \quad (3.59)$$

где η — к.п.д. эрлифта (0,25÷0,30).

Давление сжатого воздуха, необходимое для пуска эрлифта

$$P_0 = 0,1(hK - h_0 + 2), \quad (3.60)$$

где h_0 — величина колебаний (понижения) уровня при работе гидроэлеватора, м.

Давление сжатого воздуха при работе эрлифта

$$P_0 = 0,1[h(K-1) + L_p], \quad (3.61)$$

где L_p — сумма потерь давления воздуха от компрессора до смесителя.

3.4. Управление горным давлением

В естественном состоянии массив осадочных горных пород представляет собой сложную систему, состоящую из слоев с различными механическими свойствами, которые неоднородны, анизотропны и ослаблены рядом поверхностей естественной трещиноватости. Свойства и состояние массива зависят от исходного состава пород, условий их образования и последующего воздействия метаморфических и геотехнологических процессов.

Проведение в массиве выработок, а также различные воздействия приводят к нарушению его естественного исходного напряженного состояния, в результате чего породы деформируются и перемещаются с различной интенсивностью протекания этих процессов во времени. Изменение напряженно-деформированного состояния массива продолжается до тех пор, пока не достигается новое равновесное состояние.

Скважинная гидродобыча относится к той группе геотехнологических методов, в которых производится выемка пород продуктивного пласта с образованием открытого очистного пространства. Образующиеся подземные выработки чаще всего заполнены водой (полностью или частично). Проявление горного давления носит формы обрушения кровли с образованием устойчивого свода, сдви-

жения горных пород и поверхности или перераспределения горного давления на оставляемые целики. Таким образом, оно близко проявлениям горного давления в шахтных выработках.

При добыче полезного ископаемого без присутствия под землей людей исследование устойчивости и форм выработок целиков ведется с поверхности путем локации камер и фотосъемки, а наблюдения за сдвижением поверхности и деформацией пород ведутся по реперным маркшейдерским станциям.

Фактор безлюдной выемки позволяет пересмотреть требования к управлению горным давлением в сторону снижения запасов устойчивости. Временные показатели сдвижения должны соответствовать требованиям технологии и обеспечивать полноту выемки камер, минимальное разубоживание, сохранность добычных и вспомогательных скважин на время ведения работ.

Важная специфическая сторона управления горным давлением заключается в том, что в ряде случаев необходимо предотвратить сдвижение с разрывом сплошности, т.е. требуется сохранить герметичность рабочих зон.

Отработанные полости, как правило, заполнены рабочим агентом, влияние которого требуется учитывать при изучении проявления горного давления.

При СГД особенностью управления горным давлением следует считать требование об обеспечении безопасности и безаварийной эксплуатации техники на поверхности.

Быстрота отработки камер и продвижения забоя при СГД, присутствие людей и техники на поверхности обуславливают применение способов управления горным давлением с обеспечением устойчивого состояния на поверхности на период эксплуатации скважины. В этих условиях специфика управления сдвижением состоит в выборе допустимой скорости и величины оседания пород для обеспечения работоспособности скважин с максимально возможным извлечением. В частности, при СГД в условиях неустойчивой кровли эти параметры сдвижения и способ управления горным давлением определяют не только показатели системы разработки и экономичность метода, но и саму возможность добычи.

В зависимости от технологии и скорости отработки залежи при изучении горного давления ставятся различные задачи: выбор перспективных способов управления горным давлением при самых различных условиях и ограничениях технического плана; опреде-

ление предельно допустимого пролета кровли; определение целиков, устойчивых при минимальном их размере на период отработки участка.

Результат решения этих задач обуславливает выбор параметров системы разработки с точки зрения горного давления: определяется сетка добычных скважин для эффективной эксплуатации залежи при обеспечении безопасного ведения работ. Многие показатели и технические решения метода СГД, в конечном счете, определяются размерами камер и целиков.

Специфика скважинной гидродобычи по сравнению с подземной разработкой месторождений полезных ископаемых традиционными методами позволяет определить площадь обнажения выработанных пространств из условия не длительной, а кратковременной устойчивости незакрепленной кровли, а форму и размеры рудных целиков выбирать из условия поддержания покрывающего массива только на срок ведения очистных работ. Таким образом, при отсутствии людей и сложной техники в очистном пространстве снижаются требования к запасу прочности.

Это позволяет в ряде случаев при расчете пролетов обнажений определять не предельно устойчивую величину, как это делается при традиционном подземном способе разработки, а предельно достижимую величину пролета. Поэтому все процессы, происходящие в массивах горных пород при их подработке при СГД, должны рассматриваться в динамике.

Несмотря на значительную результативность выполненных в последние годы многочисленных теоретических и натурных исследований, процессы деформации, перемещений и разрушения горных пород изучены далеко не полностью.

Исследования особенностей проявления горного давления в условиях применения скважинной гидродобычи начаты только в последние годы. Трудности при проведении таких исследований, кроме специфики СГД, заключаются, прежде всего, в невозможности визуального наблюдения, а также отсутствии единой теории горного давления и единого подхода к решению задач механики для горных пород и массивов. В настоящее время существует несколько теорий, каждая из которых отражает действительность лишь для некоторых определенных условий и оказывается непригодной в других горно-геологических условиях. Сложность и многообразие факторов, оказывающих влияние на проявление горного

давления, не всегда дают возможность с определенностью воспользоваться одной из существующих теорий горного давления. Анализ, показал, что наиболее часто в практических расчетах развития горного давления в слоистых массивах используется теория балок (плит) профессора Слесарева В.Д.

Величину устойчивого пролета он предложил определять по формуле

$$L = A \sqrt{\frac{R_p H}{\gamma}}, \quad (3.62)$$

где R_p — предел прочности на растяжение, т/м²; H — мощность кровли, м; γ — объемный вес пород кровли, т/м³; A — коэффициент, характеризующий степень закрепления кровли на опорах и степень деформации пород.

Дальнейшее развитие «гипотезы балок» получило в работах К.Н. Кузнецова, который для определения устойчивого пролета выработки предложил использовать формулу

$$L_0 = k_a k_t A \sqrt{\frac{\sigma_{изг} \cdot h_0}{(1 + k_n) \cdot \gamma}}, \quad (3.63)$$

где k_a — коэффициент, учитывающий угол падения пласта; k_t — коэффициент, определяющий устойчивость пролета во времени; A — коэффициент, учитывающий характер защемления на опорах; $\sigma_{изг}$ — предел прочности на изгиб несущего слоя; h_0 — мощность несущего слоя, м; γ — объемный вес несущего слоя, т/м³; k_n — коэффициент пригрузки со стороны вышележащей толщи пород.

Последняя формула более полно учитывает условия работы пород кровли при их подработке.

Большое влияние на устойчивость выработок кроме физико-механических свойств пород кровли и ее мощности оказывает форма обнажения кровли в плане.

Наиболее жизнеспособным способом оценки устойчивости различных форм обнажений кровли оказалась гипотеза В.Д. Слесарева об «эквивалентных пролетах», которая нашла подтверждение в практике горных работ и при моделировании в лабораторных условиях. Идея предложенного метода заключается в оценке степени

устойчивости обнажения произвольной формы по величине эквивалентного по устойчивости пролета выработки постоянной ширины и неограниченной длины

$$L_{\text{экв}} = 2 \cdot \left(\frac{S}{P} \right) \quad (3.64)$$

где S — площадь обнажения, м; P — периметр площади обнажения, м.

Таким образом, в настоящее время задача расчета устойчивого пролета не имеет строгих методов решения. Кроме того, для применения предложенных методов расчета необходимо произвести ряд экспериментальных и натурных исследований для определения параметров, входящих в формулы. Решение задачи усложняется необходимостью выявления степени влияния реологических параметров горных пород на устойчивость обнажений кровли.

Реологические свойства горных пород проявляются в виде ползучести, релаксации напряжений и длительной прочности. Релаксация напряжений и ползучесть, протекающая без нарушения сплошности горных пород, исследованы достаточно подробно. Для их описания используются методы и математический аппарат, применяемые в исследованиях реологических свойств металлов, строительных материалов и др.

Реологические свойства при напряжениях, близких к предельным, при которых с течением времени происходит разрушение горных пород, проявляются в виде затухающей, установившейся и прогрессирующей ползучести и характеризуются длительной прочностью.

Длительная прочность горных пород описывается различными методами, чаще всего в виде эмпирических формул, описывающих зависимость между напряжением и временем до разрушения.

Они получены из экспериментов с разными материалами, по различным методикам, и поэтому справедливы в ограниченной области.

Вмещающими породами месторождений, разрабатываемых и предполагаемых к разработке способом СГД, являются осадочные толщи песчано-глинистых и глинистых отложений. Они обладают ярко выраженной пластичностью и высокой реологической способностью, т.е. способностью развивать протекающие во времени деформации (ползучесть) и снижать свою прочность при длительном воздействии нагрузки (релаксации напряжений).

Для расчета параметров горных выработок с учетом времени их проходки и поддержания представляет интерес изучение предела длительной прочности вмещающих пород и характера снижения прочности во времени.

В общем виде кривые длительной прочности горных пород по данным реологических исследований с достаточной для практических расчетов точностью могут аппроксимироваться уравнением вида

$$\sigma(t) = \sigma_{\text{вр}} - b \cdot t^n, \quad (3.65)$$

где $\sigma_{\text{вр}}$ — условно-мгновенная прочность породы, МПа; t — время; n , b — характеристики длительной прочности (n — безразмерная величина, b — имеет размерность МПа/с ^{n}).

Реологические свойства горных пород и особенно длительная прочность сильно влияют на характер проявлений горного давления. Учет этих свойств в методах прогноза проявлений горного давления производится на базе аналитических расчетов напряженно-деформированного состояния пород вокруг выработок.

Если в процессе выемки допускается частичное обрушение пород кровли в выработанное пространство (например, при неустойчивой кровле, представленной хорошо диспергируемыми породами), часть слоев непосредственной кровли рассчитывается как защемленные консольные плиты, а верхние слои в центральной части как балку. Слои создают при обрушении подобие карнизов над стенками выработки, при этом пролет кровли постепенно уменьшается снизу вверх. Определив пролет несущих слоев и размер карнизов, можно рассчитать размер и время развития зоны обрушения.

Расчет параметров целиков ведется из условия, что на целик действует разрушающая нагрузка, определяемая по формуле

$$P = \gamma H L k_{\phi}, \quad (3.66)$$

где γ — объемный вес покрывающих пород, H — глубина разработки, L — расстояние между целиками (сетка скважин), k_{ϕ} — коэффициент формы целика.

Несущая способность целика определяется по формуле

$$P = \sigma_{\text{сж}} h \cdot F \left(\frac{a_0}{h} \rho \right), \quad (3.67)$$

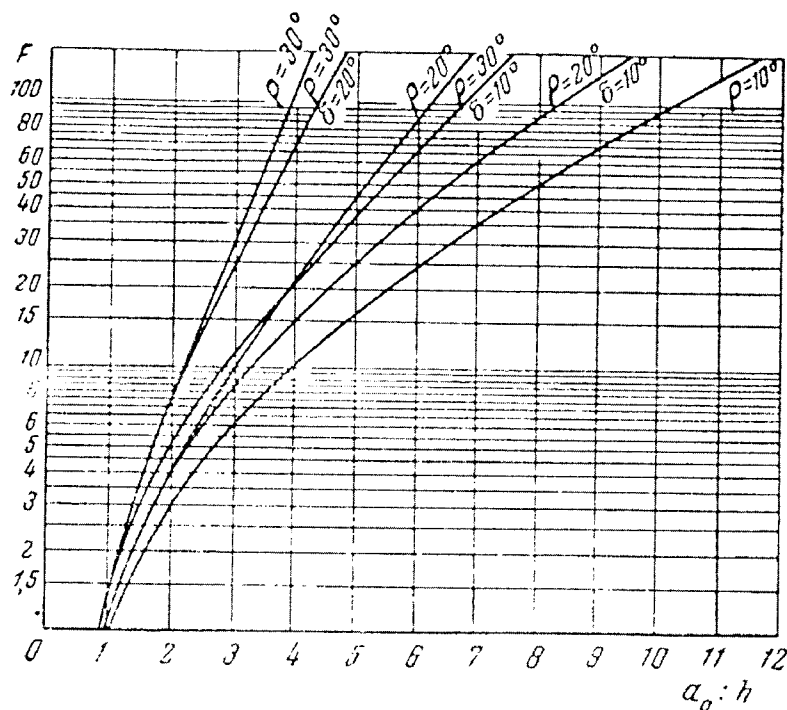


Рис. 3.7. Зависимость несущей способности барьерных целиков от соотношения их размеров

где $\sigma_{сж}$ — предел прочности на сжатие пород целика, a_0 , h , ρ — ширина, высота и угол внутреннего трения пород целика.

Отсюда, расчетное уравнение примет вид

$$F\left(\frac{a_0}{h}, \rho\right) = \frac{\gamma \cdot H \cdot L \cdot k_{\phi}}{\sigma_{сж} \cdot h} \quad (3.68)$$

Определив значение функции $F(a_0/h, \rho)$, по графику (рис. 3.7) находим отношение a_0/h и ширину целика a . Для случая, когда на контакте целика с кровлей имеется прослойк более слабого материала, угол трения которого δ меньше угла трения для пород целика ρ , пользуются соответствующими кривыми на графике или рассчитывают промежуточные значения.

При СГД с учетом кратковременности отработки отдельных очистных камер и отсутствия в них людей для достижения максимального объема добычи с минимальными потерями расчет пара-

метров выработок и других элементов систем разработки должен вестись на предельные нагрузки. В таких условиях допустимо применить для расчета пролетов потолочин, консольных плит в кровле, целиков и т.п. разработанный в строительной механике метод предельного равновесия (или предельного состояния), подход, основанный на предположении, что конструкционный материал (в данном случае горная порода) имеет диаграмму работы (σ — ξ) с неограниченной площадкой текучести. Такую диаграмму называют диаграммой идеально пластического тела или диаграммой Прандтля.

Перегиб на диаграмме (σ — ξ) называется пределом текучести σ_T . Он соответствует переходу на кривых ползучести от стадии установившейся к стадии прогрессирующей ползучести, которая, как правило, приводит к разрушению материала (и соответственно конструкции), но не к мгновенному, а через промежуток времени, определяемый свойствами материала, которого при правильно выбранных параметрах должно хватить на срок работы конструкций.

Согласно методу предельного равновесия, наибольшее вероятное усилие в элементах конструкции в рассматриваемый момент времени не должно превышать его минимальной несущей способности на тот же момент времени. Для этого вводится система коэффициентов. При СГД с учетом отсутствия в выработках людей и сложной техники суммарный коэффициент может быть принят минимальным, что позволит добиться максимума извлечения полезного ископаемого даже в условиях преждевременного обрушения кровли какой-то части очистных камер.

Пролет балки из пластического материала, рассчитанный по методу предельного равновесия, на 40 % больше предельного пролета балки, рассчитанного по упругой схеме. Сравним этот результат с данными экспериментов. Значения предельных пролетов выработок для фосфоритов, залегающих в толще майкопских глин, рассчитанные по методике В.Д. Слесарева, составили 3,0—3,2 м.

В результате испытаний было установлено, что выработки с пролетом 2,8—3,2 м оказывались устойчивыми в течение длительного времени (до 6—8 месяцев). Пролеты 5,5—6,0 м также оказывались устойчивыми в течение нескольких часов (7—9 ч) и даже обнажения размерами 10x10, оказались устойчивыми в течение 0,5—1,5 ч после окончания их проходки.

Таким образом, устойчивость, полученная по существующим методикам расчета незакрепленных выработок в слоистом массиве

при подземном способе разработки, для скважинной гидродобычи является заниженной, так как необходимость поддержания выработки после их проходки при СГД, может быть в ряде случаев не столь актуальной.

В этих условиях расчет предельно допустимых пролетов можно вести ориентируясь на заведомо неустойчивое состояние кровли. Такая возможность объясняется тем, что горное давление проявляется во времени и к моменту сооружения выработки, ее элементы не испытывают нагрузок, приводящих к разрушению. В таком случае при достаточно высоких скоростях проведение очистных работ можно проходить камеры значительных размеров до того, как возрастание нагрузки на ее элементы приведет к неминуемому ее обрушению.

В известной формуле Кузнецова К.Н. достаточно заменить произведение констант $k_t^2 \sigma_{изг}$ на произведение $k_t^2(t) \sigma_{изг}(t)$ зависящее от времени.

При этом возможны три варианта:

1. Скорость выемки относительно высока, а скорость снижения прочности породы, во времени — незначительна. Этот случай имеет место при ведении горных работ в крепких вмещающих горных породах, пластические свойства которых выражены слабо. При проведении расчетов в этих условиях в вышеприведенной формуле вместо уравнения кривой длительной прочности $\sigma_{изг}(t)$ достаточно подставить условно-мгновенную прочность при изгибе (временное сопротивление изгибу). Тогда это уравнение принимает общеизвестный вид, и скорость проведения выработки не влияет на предельные размеры обнажения.

2. Скорость проходки значительно ниже скорости снижения прочности горной породы во времени. Этот случай характерен для ведения горных работ в слабых, неустойчивых породах, обладающих ярко выраженными пластическими свойствами. Если породы имеют длительную прочность, то определение предельных пролетов обнажений можно производить по предлагаемой методики подставляя вместо $\sigma_{изг}(t)$ предел длительной прочности при изгибе $\sigma_{изг}^{дейст}$.

Если породы не имеют предела длительной прочности (псевдоплавуны), то использование систем разработки с открытым очистным пространством в таких условиях нецелесообразно (или невозможно) и необходим переход на системы с обрушением руды и вмещающих пород.

3. Скорость проходки выработок и скорость снижения прочности вмещающих пород во времени соизмеримы. В этих условиях скорость проведения выработки в значительной степени определяет её размеры. При их расчёте важно учитывать и скорость проведения выработки и характер изменения прочности пород во времени.

3.5. Методики оптимизации параметров процесса скважинной гидродобычи на стадии создания предприятия

Скважинная гидродобыча полезных ископаемых включает в себя процессы подвода энергии жидкости к поверхности твердой фазы, взаимодействия струи с полезным ископаемым с целью его диспергирования и отвода гидросмеси из зоны взаимодействия к выданным скважинам и далее на поверхность. При этом в горном массиве возникают области, отличающиеся как по свойствам, так и по происходящим в них процессам. Закономерности развития этих областей во времени и пространстве служат основой для нахождения показателей технологии СГД.

Своеобразие горно-геологических условий вызывает различие конкретных реализаций скважинной гидродобычи для каждого месторождения и поиск диапазона значений технологических показателей и технических решений, при которых достигается наиболее эффективный результат. Поиск осуществляется с использованием критерия оптимизации, который, в частности, должен учитывать потери полезного ископаемого в недрах. Для случая с мало изменяющимися капитальными затратами в качестве критерия целесообразно принимать величину прибыли, в остальных случаях — приведенные затраты.

Опыт показывает, что на практике чаще встречаются варианты с мало изменяющимися капитальными затратами, а основными факторами, влияющими на экономику, являются стоимость сооружения скважин, производство напорной воды, заработную плату, содержание и эксплуатацию оборудования.

Прибыль (Π), приходящаяся на тонну балансовых запасов (B), записывается как

$$\frac{\Pi}{B} = (\Pi_0 - C_v q_v - C_l - C_{ам} - 3 - P)\eta, \quad (3.69)$$

где C_0 — цена одной тонны руды; C_b — себестоимость производства энергетической воды; q_a — удельный расход воды; Z — затраты на заработную плату; C_1 — затраты на сооружение скважин; $C_{ам}$ — амортизационные отчисления; P — прочие расходы, в том числе выплаты по кредиту; η — коэффициент извлечения.

Последний выражается отношением величины добычи из скважины (участка, месторождения) к соответствующим балансовым запасам. Добыча из скважины (D) определяется по геометрическим размерам выработки. Так для камерной системы разработки, когда форма выработки приближается к цилиндрической

$$D = \gamma \eta_m \eta_f \pi R^2 h, \quad (3.70)$$

где γ — объемный вес руды; η_m — технологический коэффициент извлечения, учитывающий полноту выемки руды из камеры; η_f — коэффициент формы, учитывающий отличие реальной формы камеры от цилиндрической; R — радиус камеры; h — мощность пласта.

В свою очередь, размеры выработки связаны с параметрами струи воды, добычного оборудования и механическими свойствам пород. Обычно эта зависимость включает в себя в качестве определяющих факторов расход и давление воды, а также прочность руды на сдвиг. Как правило, этими же переменными, а также способом образования камеры определяется производительность гидродобычного агрегата выбранного типа.

Выражая остальные составляющие формулы (3.69) через управляемые переменные и экономические показатели будем иметь критерий для выбора параметров технологии. Сформулированная задача должна быть дополнена рядом ограничений. Так как при СГД происходит полная выемка полезного ископаемого, важнейшим ограничивающим фактором является горное давление.

Наиболее благоприятными условиями для СГД являются такие, когда свойства вмещающих пород и руды допускают достаточное обнажение кровли и оставление устойчивых (может быть на определенное время) целиков. В этих случаях применяется камерная система разработки, параметры которой рассчитываются, исходя из известных в горном деле методик, вводя в расчеты поправки на форму целиков и влияние жидкостей на механические свойства горных пород.

Решение поставленной задачи оптимизации может быть найдено известными в теории нелинейного программирования методами.

Однако при практическом использовании следует учесть, что в реальных условиях количество ограничений дополняется относительно небольшим набором насосного, добычного и другого оборудования, а также определенными горно-геологическими условиями месторождения. В результате поле допустимых значений технико-экономических показателей в значительной степени уменьшается по сравнению с общей задачей. Это дает возможность в ряде практических случаев находить область экстремальных значений параметров технологии путем простого перебора вариантов.

Таким образом, общая последовательность нахождения параметров процесса СГД заключается в следующем.

1. Определение характерных размеров выработки для заданных значений расхода и давления технологической воды.
2. Проверка на устойчивое обнажение кровли при полученных размерах камеры.
3. Нахождение объема добычи со скважины, производительности агрегата, удельных затрат энергетической воды и времени отработки выработки.
4. Определение размеров устойчивых целиков и сетки добычных скважин.
5. Нахождение коэффициента извлечения полезного ископаемого.
6. Вычисление стоимости скважины и себестоимости продукции.
7. Вычисление значения критерия оптимизации — прибыль, приходящаяся на 1 т балансовых запасов.

Выполнив вычисления для допустимых значений исходных данных, получаем область оптимальных показателей в смысле максимальной прибыли.

Указанная методика была применена для оценки параметров разработки технологий СГД забалансовых запасов фосфатных руд, отличающихся малой мощностью и относительно большой глубиной залегания.

При этом было выявлено, что для одних месторождений увеличение извлечения с увеличением расхода и давления воды постоянно приводит к возрастанию прибыли. Так что наилучшие значения технологических показателей с точки зрения выбранного кри-

терия достигаются при наибольших расходах и давлениях размывающей воды, и максимально достижимом извлечении. Так как последнее имеет место при наибольших возможных обнажениях кровли и наименьших размерах целиков, то эффективность процесса полностью определяется предельной устойчивостью выработок.

Для других месторождений (участков) область экстремальных значений показателей, хотя и соответствует наибольшему извлечению полезного ископаемого, в то же время относительно такого фактора как давление воды оптимум достигается при значениях, меньших максимально возможных.

Расчетные оптимальные параметры должны в дальнейшем корректироваться по результатам эксплуатации объекта согласно методологии, изложенной ранее.

ГЛАВА IV

4. ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА СООРУЖЕНИЯ СКВАЖИН ГИДРОДОБЫЧИ*

4.1. Типы и назначение скважин гидродобычи

Скважины гидродобычи делятся на поисковые, разведочные, разведочно-эксплуатационные, вспомогательные, наблюдательные.

Поисковые скважины бурятся на стадиях поиска полезного ископаемого. По керну и другой информации (шлам, геофизические исследования, гидродинамическое опробование), судят о наличии на данной площади полезного ископаемого.

Разведочные скважины бурятся на перспективных площадях. По ним оконтуривают месторождение и оценивают запасы.

После оценки запасов разрабатывают технико-экономическое обоснование для разработки месторождения и сооружают опытный участок, на котором бурят *разведочно-эксплуатационные* скважины. Помимо функции разведки и уточнения разведочных данных такие скважины должны обеспечить опытную эксплуатацию. При разработке месторождения в целях экономии затрат сеть или часть сети разведочных скважин может быть переоборудована в эксплуатационные (разведочно-эксплуатационные). Поэтому при проектировании разведочных скважин следует учитывать их возможную эксплуатацию.

Эксплуатационные скважины — служат для добычи полезного ископаемого. *Вспомогательные скважины* сооружают для осуществления вспомогательных операций, таких как осушение пласта (дренаж, дренажные скважины), подача рабочих растворов (нагнетательные скважины) и прочее. *Наблюдательные скважины* бурят для осуществления контроля над отработкой месторождения и управления процессом добычи.

* В работе над главой принимали участие Д.А. Петросов, С.А. Лодяной, С.В. Куликовский.

4.1.1. Бурение наклонных и направленных скважин

В определенных горно-геологических условиях вскрытие месторождения целесообразно осуществлять наклонными или направленными скважинами.

Использование наклонных скважин при добыче полезных ископаемых, залегающих в неустойчивых породах, позволяет вывести наземную часть скважинного гидродобычного снаряда из зоны возможного обрушения, что обеспечивает безопасность разработки.

Кроме этого, удаление устья скважины из активной зоны деформации покрывающих пород обеспечивает возможность выемки без оставления устойчивых целиков и, этим самым, повышает извлечение полезного ископаемого из недр.

Наклонные скважины предполагают при забурке задание определенного зенитного угла скважины, который со временем остается неизменным. Бурение наклонных скважин рационально при разработке круто падающих продуктивных пластов или подсечении залежи, имеющей в плоскости оси скважины наибольшую протяженность, или лучшие содержания полезного ископаемого.

Для сооружения наклонных скважин используют стандартное буровое оборудование шпиндельного типа, обеспечивающего начальное падение заданного зенитного угла. Это буровые установки типа ЗИФ, СКБ, УКБ. В ряде случаев для бурения наклонных скважин могут быть использованы буровые установки с подвижным вращателем, если в них предусмотрена работа при наклонной махте.

При сооружении наклонных скважин применяют стандартные бурильные утяжеленные трубы и компоновки снаряда. Особые требования предъявляются к креплению скважин, т.к. при традиционных технологиях затрудняется спуск обсадных колонн и цементирование. Необходимо тщательно готовить к калибровке ствол, использовать специальные реагенты для минимизации набухания глин и центраторы, исключая прилипание колонны к лежащему боку скважины.

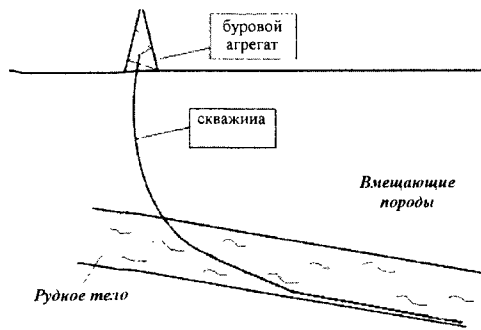


Рис.4.1. Сооружение направленной добычной скважины

Направленные скважины предполагают изменение зенитного угла по мере проходки. Для такой технологии используют специальный инструмент, такой как различные отклонители или турбобуры.

Примеры сооружения направленных скважин приведены на рис. 4.1.

Сооружение направленных скважин экономически обосновано при больших глубинах залегания продуктивных пластов вследствие дороговизны метода.

На практике часто применяют наклонно-направленное бурение, сочетающее в себе свойства наклонных и направленных скважин.

Одним из объектов, на котором может быть использовано бурение направленной скважины, может быть разработка мелкозернистых выветрелых кварцитов КМА с глубины 600—1000 м, что позволит увеличить объем добычи из скважины.

Затраты на бурение наклонных и направленных скважин на 30—50 % больше, чем при бурении вертикальных скважин, поэтому их выбор осуществляется на основе сравнительного экономического расчета.

4.2. Конструкции скважин

Конструкции скважин определяются: назначением скважин и возможностью проведения в них запланированных технологических процессов, работы скважинного оборудования и приборов, простоты производства оперативного ремонта и обслуживания; горно-геологическими и гидрогеологическими условиями района проведения работ и разрабатываемого месторождения.

Основопологающим условием разработки конструкции скважины является эксплуатационная колонна, ее диаметр и глубина установки. Как правило, обсадная колонна устанавливается и затем цементируется на глубину залегания кровли продуктивного пласта или разрабатываемого интервала. Диаметр обсадной колонны должен обеспечивать беспрепятственный спуск, подъем и работу добычного или другого оборудования и приборов.

Используются следующие типы обсадных колонн:

Направление применяется если это необходимо для создания начальной вертикальности скважины, предотвращения размыва рыхлых пород, залегающих близко к поверхности, а также для обеспечения циркуляции бурового раствора, не затрагивающей основания, на которое установлена буровая вышка. Установка этой

трубы в землю осуществляется вбиванием копром для забивки свай или вкапыванием на глубину 2—3 м до начала монтажа буровой установки. Обычно диаметр такой трубы изменяется в пределах 323,9—508,0 мм.

Кондуктор применяют для закрепления неустойчивых пород, изоляции верхних водоносных пластов и перекрытия зон осложнений, залегающих на малых глубинах. Кондуктор имеет диаметр 273,1—323,9 мм и цементируется на всю длину.

Промежуточная колонна (необходимость в посадке этой колонне возникает редко) обычно устанавливается в том случае, когда технологически невозможно сразу осуществить бурение ствола под эксплуатационную колонну, т.е. требуются изоляция относительно глубоко залегающих неустойчивых и выпучивающих пород, зон интенсивного поглощения бурового раствора, водопритока и защита интервалов легкоразмываемых пластов (например, соли). Для предотвращения связи между водоносными зонами должно быть обеспечено качественное цементирование этой обсадной колонны.

Эксплуатационные колонны. Они устанавливаются для добычи полезного ископаемого, обеспечивая подачу воды на гидромониторы и гидроэлеватор и воздуха для подъем пульпы эрлифтом.

Следует отметить, что любое усложнение конструкции ведет к удорожанию. Включение дополнительной обсадной колонны возможно лишь в том случае, если применение других способов предотвращения осложнения увеличит стоимость скважины больше, чем усложнение данной конструкции.

Спуск обсадной колонны в скважину возможен, если диаметр последней больше максимального наружного диаметра колонны

$$d_c = d_m + 2\Delta_k, \quad (4.1)$$

где d_c — диаметр скважины (обычно равен диаметру долота, которым пробурен данный участок, мм; d_m — наибольший наружный диаметр колонны (диаметр соединительной муфты), мм; Δ_k — радиальный зазор между стенкой скважины и муфтой колонны, достаточный для ее свободного спуска, мм.

Диаметр долота для бурения ствола под последующую обсадную колонну $d_{к.посл}$ должен быть меньше внутреннего диаметра предыдущей колонны.

$$D_{к. посл} = d_{пред} - \Delta, \quad (4.2)$$

где Δ — необходимый радиальный зазор для свободного прохода долота через предыдущую колонну, мм.

На выбор величины зазора Δ_k влияют жесткость колонны, глубина ее спуска в открытый ствол, искривленность ствола, устойчивость стенок скважины, размеры, конструкция и число элементов специального оборудования, надеваемого на обсадную колонну для повышения качества разобщения проницаемых пластов, также общее число спускаемых в скважину колонн. Зазор тем больше, чем больше диаметр и, следовательно, жесткость колонн. В наклонных скважинах зазор несколько больше, чем в вертикальных.

Радиальный зазор между стенкой скважины и муфтой для вертикальных скважин находится в следующей зависимости от их диаметра:

Диаметр скважины, мм	114—68	178—45	273—351	>351
Зазор Δ_k , мм	5—15	15—25	25—40	40—50

Величину зазора Δ_k выбирают с учетом овальности труб предыдущей колонны, допусков на диаметр этих труб и на диаметр долот для бурения под последующую колонну. Чаще всего Δ_k принимается равным 5—15 мм.

Расчет конструкции начинается с выбора диаметра эксплуатационной колонны. Для гидродобычных скважин размер эксплуатационной колонны определяется исходя из габаритов оборудования, спускаемого в скважину. Диаметр эксплуатационной колонны также должен обеспечить проведение ремонтных работ в скважине.

Наиболее оптимальным считается тот вариант конструкции, при котором себестоимость единицы добываемой продукции и стоимость строительства будет наименьшей.

4.3. Обсадные колонны

Обсадные трубы соединяются между собой с помощью резьбовых (чаще) или сварных соединений. Трубы обсадные и муфты к ним изготавливаются из углеродистых и легированных сталей с наружным диаметром 114—508 мм и различной толщиной стенки в соответствии с ГОСТ 632—80. Длина труб в основном составляет 9,5—13 м.

Потребителям заводы отгружают обсадные трубы партиями, которые снабжаются сертификатом с удостоверением качества труб и соответствия их требованиям стандарта или технических условий.

Соединения труб бывают муфтовые с конической резьбой треугольного профиля. Прочность муфтового соединения с конической резьбой треугольного профиля составляет не более 70 % от прочности тела самой трубы, и имеют недостаточно высокую герметичность.

Муфтовые соединения с резьбой трапецеидального профиля имеют большую прочность, за счет меньшего угла наклона боковых граней при вершине. Трубы с такими соединениями имеют шифр ОТТМ (обсадные трубы с трапецеидальной резьбой, с муфтами).

Безмуфтовые соединения с резьбой трапецеидального профиля делятся на соединения труб с утолщенными концами и труб с постоянной по длине толщиной стенок. Трубы с утолщенными концами разработаны в двух вариантах. В трубах ТБО-4 (трубы безмуфтовые обсадные) утолщены оба конца. На концах нарезана наружная и внутренняя конические трапецеидальные резьбы.

Повышение герметичности резьбовых соединений достигается применением смазок Р-2МВП, Р-402 и фторопластовой ленты ФУМ.

Сварные соединения. К наиболее эффективным способам повышения герметичности можно отнести сварку соединений обсадных труб. Основные типы сварных соединений: раструбное, муфтовое и встык. Одним из недостатков таких соединений является сложность центрирования концов труб при сварке.

При спуске обсадной колонны нижняя труба может задевать или упираться в выступы на стенках. Для предупреждения осложнений и облегчения спуска обсадной колонны на нижнем конце ее размещают специальный башмак, который снизу имеет чугунную, дюралюминиевую или бетонную направляющую пробку обтекаемой формы. Башмак представляет собой стальной патрубков длиной 30—50 см с толщиной стенки около 15 мм; внутренняя часть нижнего торца имеет фаску под углом 45°. Направляющая пробка имеет внутренний канал для промывки колонны. Башмак крепится на колонне с помощью резьбового или сварного соединений.

При спуске обсадной колонны отверстие в направляющей пробке часто забивается частицами пород и глинистой коркой, сорванными со стенок скважины, что затрудняет восстановление циркуляции промывочной жидкости. Поэтому над башмаком в первой трубе на длине 1,0—1,5 м по спиральной линии вырезаются циркуляционные отверстия. Над первой трубой устанавливается обратный клапан. Обратный клапан предотвращает поступление цементного раствора из заколонного пространства внутрь обсадной колонны после окончания цементирования. Клапан пропускает жидкость только в одном направлении — из колонны в заколонное пространство.

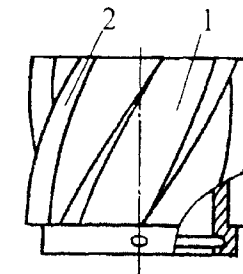


Рис. 4.2. Турболизатор:
1 — корпус;
2 — упругие

Колонна оснащается центрирующими устройствами для создания равномерного кольцевого зазора, обеспечивающего качественное цементирование колонны. Упругий пружинный центратор (фонарь) состоит из двух разъемных шарнирных колец, соединенных между собой несколькими плоскими или ребристыми пружинами, выгнутыми наружу. Центратор устанавливают так, чтобы муфта обсадной колонны оставалась между его шарнирными кольцами. Диаметр фонаря должен быть на 15—20 % больше номинального диаметра скважины.

Важной операцией является подготовка ствола скважины к спуску обсадных колонн. Перед началом крепления скважины в ней проводятся геофизические исследования (кавернометрия, инклинометрия, электрометрии и т.д.). По результатам кавернограммы определяются интервалы проработок и уточняются места установок элементов оснастки.

После проработки и, в случае необходимости, калибровки скважины сразу начинается спуск обсадной колонны. В процессе спуска каждая обсадная труба перед свинчиванием с колонной и проверяется на прохождение жесткого шаблона, диаметр которого равен наружному диаметру следующего долота или соответствующего скважинного оборудования. При не прохождении шаблона труба бракуется.

Положение верха обсадной колонны после спуска должно обеспечить установку соответствующего устьевого оборудования.

Цементирование обсадной колонны является окончательной операцией по креплению всей или какого-то участка скважины. Цементирование осуществляется сразу после спуска колонны.

Цементный раствор, закачиваемый в заколонное пространство выполняет следующие функции: 1) разобщение (исключение сообщения) проницаемых горизонтов друг от друга в скважине; 2) обеспечение механической опоры для удержания подвешенной обсадной колонны; 3) защита обсадной колонны от воздействия агрессивных пластовых вод и газов, вызывающих коррозию; 4) укрепление и создание опоры для стенок скважины (совместно с обсадной колонной) для предотвращения обвала пород.

Основным сырьем для производства цемента являются известковые и глинистые породы (известняк, глина, глинистый сланец), а также другие минералы с высоким содержанием карбоната кальция.

Заводами-изготовителями тампонажный портландцемент выпускается двух видов для холодных (22°C) и горячих (75°C) скважин. Кроме того, тампонажные цементы по вещественному составу и назначению в зависимости от конкретных горно-технических условий применения подразделяются на специальные разновидности: цемент без добавок, цемент с добавками, цемент песчанистый, цемент сульфатостойкий, облегченный, нормальной плотности, утяжеленный. Сроки схватывания цемента: начало не ранее 1 ч 45 мин, конец не позднее 6—18 ч в зависимости от марки.

При цементировании скважин также широко используется обыкновенный строительный портландцемент марки 400 и выше.

На практике не всегда удается применить готовый стандартный цемент, поэтому в полевых условиях свойства цементного раствора регулируются для различных условий с помощью добавок, представленных в табл. 4.1.

Качественный результат проведения этой операции имеет большое значение при дальнейшей эксплуатации скважины. Поэтому, важно на стадии подготовки к цементировочным работам правильно выбрать рецептуру тампонажной смеси и точно рассчитать необходимые параметры цементирования. Требуемое количество цементного раствора $V_{ц.р.}$ (м³) определяется по формуле

$$V_{ц.р.} = 0,785[(D_{скв.} - d_{н.кол.})HK_{кав.} + hd_{в.кол.}], \quad (4.3)$$

где $D_{скв.}$ — диаметр скважины, м; $d_{н.кол.}$ — наружный диаметр обсадных труб в м; H — высота подъема цементного раствора за колонной, м; K — коэффициент, учитывающий увеличение объема це-

ментного раствора на заполнение расширений и каверн (принимают равным 1,2—1,3); $d_{в.кол.}$ — внутренний диаметр обсадных труб, м; h — высота цементного стакана в колонне, м.

Таблица 4.1

Добавки для обработки цементных растворов

Облегчающие добавки	Бентониты, глины и глинопорошки в количествах до 5—12 % (по массе сухих компонентов); диатомит (до 20—50 %); пемза и перлит (до 20 %); каменный уголь, графит и промышленные отходы (топливные золы)
Утяжеляющие добавки	Барит, ильменит, гематит, магнетит (соотношение с цементом по массе до 1:1), различные металлургические шлаки
Ускорители схватывания и твердения	Хлористый кальций 1—5 % (от массы сухого цемента) для обычных цементных растворов при отрицательных и низких положительных температурах. Силикат натрия (жидкое стекло) до 5 % для облегченных растворов и растворов на основе шлаков. Кальцинированная сода 1—5 % для обычных цементных растворов при низких положительных температурах. Добавки более 5 % снижают долговечность цементного камня
Замедлители схватывания	ССБ (сульфит спиртовая барда) до 1 % для обычных и утяжеленных цементных растворов; срок схватывания удлиняется до 3 ч (при 100°C), замедляется твердение. КМЦ до 1,5 % для обычных цементных растворов и утяжеленных растворов; срок схватывания удлиняется до 4 ч, замедляется твердение. Нитролигнин до 1 % для обычных цементных растворов, срок схватывания удлиняется до 4 ч, твердение не замедляется. Хромпик, НТФ, ОДЭФ — 0,1—0,2 %
Понизители водоотдачи	Бентонитовые порошки до 10—25 % (от массы сухого цемента), снижение водоотдачи до 4 раз, ухудшение подвижности раствора, снижение прочности цементного камня. Гипан — 0,5—1,5 % снижение водоотдачи в 4—10 раз, разжижение цементного раствора. КМЦ — 0,5—1,5 %, снижение водоотдачи в 2—5 раз. Нитролигнин до 1 %, снижение водоотдачи до 5 раз, вызывает замедление схватывания
Повышение прочности цементного камня	Гематит. Активированный (измельченный до фракции 0,05) кварцевый песок
Пластификатор	Гипан с хромпиком. Поверхностно-активные вещества (сульфонол, ОП и др.) 0,1—1,5 % от массы цемента

Удельный вес цементного раствора $\gamma_{ц.р.}$ (т/м³) вычисляется из выражения

$$\gamma_{ц.р.} \gamma = \gamma_{ц} \gamma_{в} (1 + m) / \gamma_{в} + m \gamma_{ц}, \quad (4.4)$$

где $\gamma_{ц.р.}$ — удельный вес цементного раствора, т/м³; $\gamma_{ц}$ — удельный вес цемента, т/м³; $\gamma_{в}$ — удельный вес воды, т/м³; m — водо-цементное отношение (обычно принимаемое равным 0,45—0,5).

Количество сухого цемента q (т/м³) для приготовления 1 м³ цементного раствора рассчитывается по формуле

$$q = \gamma_{ц} \gamma_{в} / \gamma_{в} + \gamma_{ц} m, \quad (4.5)$$

где $\gamma_{ц}$ — удельный вес цемента, т/м³; $\gamma_{в}$ — удельный вес воды, т/м³; m — водо-цементное отношение.

Общее количество сухого цемента $G_{ц}$ (т) для цементирования определяется из выражения

$$G_{ц} = k_{ц} \cdot V_{ц.р.} \cdot q,$$

где $k_{ц}$ — коэффициент потери цемента при погрузо-разгрузочных работах, принимаемый равным 1,03—1,05; $V_{ц.р.}$ — объем цемента.

Объем воды $V_{в}$ (м³) необходимый для приготовления цементного раствора, определяется из выражения

$$V_{в} = G_{ц} \cdot m / \gamma_{в}, \quad (4.6)$$

Количество жидкости для продавки $V_{пр}$ (м³) цементного раствора вычисляется по формуле

$$V_{пр} = 0,785 \cdot n \cdot d_{вн}^2 (H - h), \quad (4.7)$$

где $V_{пр}$ — необходимое количество глинистого раствора или воды для продавливания цементного раствора в затрубное пространство, м³; n — коэффициент, учитывающий сжатие жидкости, принимается для глинистого раствора 1,05 и для воды 1,0; $d_{вн}$ — внутренний диаметр колонны; H — длина колонны труб в м; h — высота цементной пробки в обсадных трубах.

Цементирование выполняется с помощью специальных цементировочных агрегатов (ЦА-320) и цементосмесительных машин (СМН-20). При приготовлении небольших объемов цементного раствора цементирование проводится с использованием буровых насосов

Минимальная высота H (м) подъема цементного раствора, необходимая для удержания обсадной колонны, в том случае, если нет цементирования колонны на всю длину, определяется из следующей эмпирической зависимости

$$H = Q / 80250 \cdot \delta_{сж} \cdot D, \quad (4.8)$$

где Q — вес обсадной колонны, Н; $\delta_{сж}$ — прочность на сжатие цементного камня (2,7—3,5 МПа); D — наружный диаметр обсадной колонны, м.

Контроль качества сооружения скважин. Технология и технические средства, используемые при сооружении гидродобычных скважин, должны обеспечивать надежность изоляции всех вскрытых водоносных горизонтов и минимально влиять на изменение естественных параметров продуктивных пластов. Поэтому повышение качества скважин, зависящего от всего комплекса работ, связанного с их сооружением, является актуальной задачей.

Одним из наиболее действенных и оперативных видов контроля являются геофизические методы исследования скважин (каротаж). Также для проведения технического контроля используются методы гидравлического испытания открытых и закрепленных колоннами стволов скважин (опрессовка, откачка, наливки и т.д.).

В табл. 4.2 представлен перечень геофизических исследований для определения технического состояния скважины.

Применение инклинометрии позволяет измерить искривление скважины и определить истинное положение ее забоя, а также глубины и мощности залегания пластов.

Кавернометрия и профилометрия предназначены для регистрации поперечного размера ствола скважины с целью проработки выявленных отклонений (уступов, каверн, сужений, желобов и т.п.) и расчета фактического объема скважины для определения количества тампонажной смеси. Проведение данных методов также представляет информацию о наличии разрыва обсадной колонны со смещением.

Таблица 4.2

Геофизические методы контроля состояния скважин

Геофизические методы исследования скважин	Основные решаемые задачи
Инклинометрия	Определение пространственного положения ствола и забоя скважины
Кавернометрия, профилометрия	Измерение диаметра и профиля поперечного сечения ствола скважины. Выделение коллекторов. Определение мест нарушения целостности обсадных колонн со смещением
Термометрия	Определение наличия цемента в заколонном пространстве, зон поглощения раствора, интервалов притока и затрубной циркуляции пластовых вод, нарушений обсадных колонн
Резистивиметрия	Выявление мест притоков и поглощений жидкости в скважине. Нахождение повреждений в обсадных трубах.
Расходомерия	Выявление и определение количественной характеристики зон притока пластовых вод и поглощения жидкостей
Гамма-гамма каротаж плотностной (ГГК)	Определение пористости коллекторов, наличия и плотности цементного камня за колонной и гравия в при-фильтровом пространстве
Акустическая цементометрия (АКЦ)	Установление высоты подъема цемента, определение степени заполнения затрубного пространства цементом оценка степени сцепления цементного камня с колонной и породой
Телефотометрия	Фотовизуальный контроль внутренних поверхностей труб и фильтров, съемка при определенных условиях эксплуатационных камер

Термометрия измеряет температурные изменения в скважине. Определение наличия и высоты цементного кольца в затрубном пространстве основано на выделении тепла в процессе затвердевания цемента. Выделение зон притока флюидов, мест поглощения бурового раствора и интервалов заколонной циркуляции жидкости осуществляется интерпретацией термограмм, полученных как в установленном режиме, так и при различных моментах восстановления теплового режима, нарушенного закачиванием в скважину жидкостей с повышенной или пониженной температурой.

Резистивиметрия заключается в определении удельного электрического сопротивления жидкости, находящейся в скважине. Установка места притока подземных вод в скважину по сопоставлению удельных сопротивлений бурового раствора и пластовой жидкости (открытый ствол, нарушение колонны, рабочая часть фильтра).

Метод расходомерии основан на измерении скорости потока воды, протекающего по стволу скважины (обсадной колонне). Расход воды в скважинах определяется в процессе притока, откачки, налива или нагнетания. По данным расходомерии фиксируются проницаемые участки разреза, места нарушений (приток, поглощение) в обсадной колонне и определяется гидравлическая характеристика работы фильтра.

Плотностной гамма-гамма каротаж (ГГКП) основан на облучении горных пород γ -квантами средней энергии (первичное γ -излучение) и регистрации рассеянного (вторичного) γ -излучения.

Акустическая цементометрия (АКЦ) проводимая для исследования скважин основана на способности цементного камня, как и любого твердого тела, пропускать через себя продольные и поперечные волны. Экспериментально установлено, что, чем больше скорость продольных волн, тем выше плотность и показатели упругопрочностных свойств цементного камня.

Для контроля качества цементирования обсадных колонн используются термометрия, гамма-гамма каротаж (ГГК), акустическая цементометрия (АКЦ). Опыт показывает, что наиболее полную информацию о качестве цементирования обсадных колонн можно получить при комплексном применении различных методов. Также информативность увеличивается при многократном проведении термометрии, ГГК и АКЦ в течение ОЗЦ. Полученная информация помогает выявить зоны межпластовых перетоков флюидов по заколонному пространству.

Следует отметить, что достоверная и полная информация о состоянии ствола скважины (выявление интервалов, потенциально опасных в отношении межпластовых перетоков) позволяет уверенно определить необходимость использования конкретной технологии крепления скважины с применением соответствующих технических средств.

4.4. Технология проходки скважин гидродобычи. Горно-геологические условия

По физико-механическим свойствам горных пород: твердости F_d абразивности $K_{абр}$ и трещиноватости устанавливается категория пород по буримости.

В табл. 4.3 приведены показатели для предварительного определения категории по буримости для основных разновидностей принятых в бурении классификации горных пород.

**Классификация горных пород по буримости для механического
вращательного бурения скважин**

Группа пород по буримости	Характеристика горных пород
I	Торф и растительный слой без корней. Рыхлые: лесс, пески (не пльвуны), супеси без гальки и щебня. Суглинки лессовидные, трепел, суглинки лессовидные
II	Торф и растительный слой с корнями или с небольшой примесью мелкой (до 3 см) гальки и щебня. Суглинки и супеси с примесью до 20 % мелкой (до 3 см) гальки и щебня. Пески плотные, суглинок плотный, лесс, мергель рыхлый. Пльвун без напора, лед. Глины средней плотности, мел, сажи, каменная соль (галит). Железная руда охристая
III	Суглинки и супеси с примесью свыше 20 % мелкой (до 3 см) гальки и щебня. Лесс плотный, дресва, пльвун напорный Глины с частыми прослоями (до 5 см) слабосцементированных песчаников и мергелей, плотные, мергелистые, загипсованные, песчанистые. Песчаники слабосцементированные глинистым и известковым цементом. Мергель, известняк-ракушечник, мел плотный. Гипс тонкокристаллический, выветрелый. Каменный уголь слабый, бурый уголь. Сланцы тальковые, разрушенные всех разновидностей. Марганцевая руда, железная руда окисленная, рыхлая. Бокситы глинистые
IV	Галечник состоящий из мелких галек осадочных пород. Алевролиты плотные глинистые, песчаники глинистые. Мергель плотный, неплотные известняки и доломиты. Пористые известняки и туфы. Опоки глинистые. Гипс кристаллический, калийные соли. Каменный уголь средней твердости. Сланцы глинистые. Апатит кристаллический. Бокситы
V	Галично-щебенистые грунты, галечник мерзлый. Мерзлые песок-крупнозернистый, дресва, глины песчанистые. Песчаники на железистом и известняковистом цементе. Алевролиты, аргиллиты. Известняки, мрамор, доломиты мергелистые. Каменный уголь твердый, антрацит. Сланцы глинисто-сланцевые, серпентиниты
VI	Песчаники полевошпатные, кварцево-известняковые, алевролиты с включением кварца. Известняки плотные, доломитизированные, доломиты плотные. Сланцы глинистые, кварцево-сланцевые. Аргиллиты слабо окремненные. Апатиты. Бурые железняки ноздреватые, гематито-мартиновые руды
VII	Аргиллиты окремненные. Конгломераты осадочных пород на кремнистом цементе, песчаники кварцевые. Доломиты весьма твердые, Окварцованные: полевошпатовые песчаники, известняки. Опоки крепкие. Сланцы слабо окремненные. Кимберлиты базальтовые. Кварцы пористые, бурые железняки ноздреватые, пористые. Аргиллиты кремнистые

Группа пород по буримости	Характеристика горных пород
VIII	Конгломераты изверженных пород на известковистом цементе. Доломиты окварцованные, окремненные. Фосфориты плотные. Сланцы окремненные, гнейсы. Диабазы, порфиры и порфириты. Диориты, не затронутые выветриванием, Мелкозернистые затронутые выветриванием граниты, сиениты, габбро, гранито-гнейсы, пегматиты
IX	Базальты, не затронутые выветриванием, Конгломераты изверженных пород на кремнистом цементе. Известняки карстованные, кремнистые песчаники и известняки. Доломиты кремнистые, фосфориты окремненные. Сланцы кремнистые. Диабазы тонкокристаллические. Бурые железняки плотные
X	Песчаники кварцевые сливные, джеспилиты, затронутые выветриванием, фосфорито-кремнистые породы. Мелкозернистые граниты, гранито-гнейсы, гранодиорит. Пегматиты плотные. Магнетитовые и марганцевые руды. Бурые железняки окремненные. Кварц жильный
XI	Джеспилиты, не затронутые выветриванием, сланцы яшмовые кремнистые, кварциты, роговики. Кварц плотный, корундовые руды
XII	Совершенно не затронутые выветриванием монолитно-сливные: джеспилиты, кремль, яшмы, роговики, кварциты, корундовые породы

Совокупность трещин, разбивающих массив горных пород, называют трещиноватостью. Степень трещиноватости вместе с другими тектоническими нарушениями характеризует структуру массива пород, ее пространственную неоднородность и анизотропность свойств, влияет на прочность и устойчивость пород (деформируемость, водопроницаемость, влагоемкость, твердость, буримость).

Приближенно трещиноватость пород можно оценить по выходу керна. Поэтому за основной критерий, позволяющий оценивать степень трещиноватости пород при бурении, принята удельная кусковатость керна $K_{уд}$ (число кусков, обломков или столбиков на 1 м выхода керна) в качестве косвенного — выход керна.

Применение перечисленных критериев позволяет получить достаточно полную характеристику трещиноватости пород объекта. Классификация пород по трещиноватости применительно к вращательному бурению приведена в табл. 4.4.

Наиболее опасной зоной, где интенсивно разрушаются горные породы, является контур скважины и прилегающая к скважине часть породы. Концентрация напряжений в этой области достигает максимума, за счет чего происходит нарушение устойчивости стенок скважины в виде обрушения, обвалов, осыпания и выпучивания.

Таблица 4.4

**Классификация пород по трещиноватости применительно
к вращательному бурению**

Группы горных пород по трещиноватости	Степень трещиноватости горных пород	Критерии оценки степени трещиноватости горных пород	
		Удельная кусковатость керна $K_{уд}$	Выход керна V_k , %
1	Монолитные	1—5	100—70
2	Слаботрещиноватые	6—10	90—60
3	Трещиноватые	11—30	80—50
4	Сильнотрещиноватые	31—50	70—40
5	Весьма и исключительно сильнотрещиноватые	51 и более	60—30 и менее

Для оценки степени устойчивости горных пород в стенках скважины в процессе бурения рекомендуется классификация горных пород по степени устойчивости их в стенках скважины, исходя из принципа механического разрушения очистным агентом и вибрирующим буровым снарядом и от физико-химического изменения горных пород (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Классификация групп пород по устойчивости

Группа пород по устойчивости	Степень устойчивости	Характеристики пород по устойчивости	Горно-геологическая характеристика пород
I	Устойчивые	Практически неразрушимые гидродинамическими нагрузками и вибрациями бурового снаряда	Монолитные и слаботрещиноватые, IX—XII категории по буримости
II	Среднеустойчивые	Разрушаемые гидродинамическими нагрузками и вибрациями снаряда	Различной степени трещиноватости, перемежающиеся по твердости, IV—VIII
III	Мало устойчивые	Легко разрушаемые и растворимые (минеральные соли) и многолетнемерзлые породы	Малой твердости, хрупкие и высокопластичные, III—V
IV	Неустойчивые	Легко разрушаемые и размываемые	Рыхлые, сыпучие, пльвуны, I—II

Таблица 4.6

**Классификация комплексов горных пород по проницаемости
и по поглощающей способности**

Группа пород по проницаемости	Характер поглощения	Количество поглощаемой жидкости, м ³ /час	Характеристика пород	Необходимые технологические мероприятия
I	Частичное	5	Пористые песчаники, среднезернистые пески, слабопористые известняки	Применение глинистых растворов
II	Сильное	5—10	Среднезернистые песчаники, крупнозернистые пески, трещиноватые известняки, доломиты и изверженные породы	Применение глинистых растворов с наполнителями
III	Полное	10—15	Крупнозернистые песчаники, сильнотрещиноватые известняки и доломиты	Применение быстросхватывающихся смесей
IV	Катастрофическое	>15	Кавернозные известняки, доломиты	Обсадка трубами

Наряду с устойчивостью и трещиноватостью пород, имеет значение такое важное свойство, как проницаемость, характеризующая их способность пропускать через толщу массива жидкости, включая подземные воды. Поглощающая способность пород часто обуславливает развитие различных осложнений при бурении и приводит к необходимости перекрытия активно поглощающих интервалов обсадной колонной. Классификация горных пород по трещиноватости, и степени водопроницаемости приведена в табл. 4.7.

Наряду с вышеперечисленными физико-механическими свойствами, важнейшее значение при производстве буровых работ имеет оценка устойчивости горных пород к изменению своей структуры при контакте с водой, содержащейся в промывочном агенте.

Негативное воздействие промывочным агентом может выражаться в оплывании, вывалах, пучении, скольжения, ползучести (пластически вязкой деформации) стенок скважины.

Таблица 4.7

**Классификация горных пород по трещиноватости,
и степени водопроницаемости**

Горные породы	Коэффициент фильтрации, м/сут	Удельное водопоглощение, м ³ /час
Практически монолитные, слабо-трещиноватые	0,01	0,0003
Весьма слабоводопроницаемые, слаботрещиноватые	0,01—0,1	0,0003—0,003
Слабоводопроницаемые, слабо-трещиноватые	0,1—10	0,003—0,3
Водопроницаемые, трещиноватые	10—30	0,3—0,9
Сильноводопроницаемые, сильно-трещиноватые	30—100	0,9—3,0
Весьма сильноводопроницаемые, сильнотрещиноватые, карст	100	3,0

Различают породы устойчивые, временно устойчивые и неустойчивые. К устойчивым относят породы, способные не обрушаться в незакрепленной части ствола скважины. Временно устойчивые ведут себя в течение определенного времени как устойчивые. Неустойчивые требуют применения особых мер при их вскрытии или еще при подходе к ним. Классификация пород по видам деформации приведена в табл. 4.8.

При бурении скважин на твердые полезные ископаемые в основном используют шарошечные долота для бурения сплошным забоем.

По характеру воздействия на разбуриваемую породу шарошечные долота делятся на долота дробяще-скалывающего и ударно-дробящего действия.

К долотам дробяще-скалывающего действия относятся шарошечные долота со смещенными осями шарошек. Они разрушают породу за счет ударного действия зубьев о породу, и при проскальзывании шарошек происходит ее скалывание. Это долота типа М, МС, С.

К долотам ударно-дробящего действия относятся шарошечные долота, имеющие шарошки в виде правильного конуса, без смещения осей. Они разрушают породу за счет перекатывания зубьев по забою с нанесением ударов. Эти долота для бурения твердых, и абразивных пород представлены типами СТ, Т, ТК, К и ОК.

Таблица 4.8

**Виды деформационных осложнений при бурении в глинистых
и глиносодержащих породах**

Вид нарушения целостности ствола скважин	Краткая характеристика пород	Осложнения
Течение (оплывание)	Водонасыщенные и сильно обводненные, склонные к тиксотропным изменениям глины	Заполнение части ствола скважин породой, образование пробок, затяжки, прихват бурового инструмента
Течение (оплывание)	с высоким содержанием минералов группы монтмориллонита, напорные пльвуны	Трудности крепления ствола скважины, дополнительные затраты времени на промывку и проработку скважины ухудшение исходных свойств промывочной жидкости
Породопроявление	Напорные пльвуны и высокопластичные глинистые породы	Заполнение скважины породой, осложнения, аналогичные течению пород
Ползучесть (пластическая вязкая деформация)	Пластичные гидрослюдистые или каолинитовые породы с высоким содержанием минералов группы монтмориллонитов	Сужение ствола скважины, затяжки бурового инструмента, прихваты, дополнительные затраты времени на проработку скважины при бурении и креплении обсадными колоннами, ухудшение качества промывочной жидкости
Скольжение	Глинистые сланцы с выраженными плоскостями напластований, выполненные монтмориллонитом. Породы тектонических зон с глинами трения по трещинам	Образование каверн, заклинивание бурового инструмента, зашламование ствола скважины, прихваты, обрывы бурильных труб
Вывалы и обрушения	Глинистые сланцы, аргиллиты с интенсивно развитой макро- и микротрещиноватостью	Обрушение пород в ствол скважины, кавернообразование, заклинивание, прихват и обрывы бурильного инструмента, дополнительные затраты времени на разбуривание завалов, потеря части ствола скважины, дополнительные затраты времени на бурение второго, а иногда и третьего ствола

**Классификация типов буровых шарошечных долот
и область их применения**

Типы долот	Категория по буримости	Область применения
Долота со стальным, выфрезерованным вооружением В него входят пять типов: М, МС, С, СТ, и Т		
тип М тип МС тип С тип СТ тип Т	I—IV V—VII VIII—IX	Мягкие и вязкие породы, пески, рыхлые глины, суглинки, супеси, мерзлые илистые грунты Не плотные глины, мел, каменная соль, гипс, слабые известняки Средние породы, аргиллиты, плотные глины, алевролиты, слабые мергели Пропластки твердых пород, плотные мергели, неплотные алевролиты, песчаники, пористые известняки, вязкие сланцы Твердые, плотные и трещиноватые породы, глинистые сланцы, доломиты, песчаники
Долота со вставным твердосплавным вооружением. Литера З указывает на то, что тип долота предназначен для разбуривания абразивных пород		
тип МЗ тип СЗ тип ТЗ тип ТКЗ тип К тип ОК	I—IV V—VII VIII—IX IX—XI	Мягкие и вязкие абразивные породы, пески, рыхлые глины, суглинки, супеси, мерзлые илистые грунты Не плотные глины, мел, каменная соль, гипс, слабые известняки Средние абразивные породы, аргиллиты, плотные глины, алевролиты, слабые мергели Пропластки твердых абразивных пород, плотные мергели, неплотные алевролиты, песчаники, пористые известняки, вязкие сланцы Твердые, плотные и трещиноватые абразивные породы, глинистые сланцы, доломиты, песчаники Крепкие абразивные породы, граниты, диабазы, окварцованные доломиты, очень крепкие песчаники Очень крепкие и очень абразивные породы, кварциты, сливной кварц, джеспилиты, кремень

Долотами типа МС наиболее эффективно разбуриваются плотные песчаники, плотные глины с пропластками галечника и щебня, валунно-галечные отложения.

По числу шарошек шарошечные долота подразделяются на одношарошечные (I), двухшарошечные (II), трехшарошечные (III).

По расположению и конфигурации промывочных или продувочных каналов различают долота: с центральным промывочным каналом (Ц); с боковой гидромониторной промывкой (Г); с центральной продувкой (П); с боковой продувкой (ПП).

Опоры шарошечных долот имеют различную конструкцию: на подшипниках качения (В); на одном подшипнике скольжения, остальные подшипники качения (Н); на двух подшипниках скольжения и более (А); с герметизированными уплотнительными кольцами и резервуарами для смазки (У) — с герметизированной опорой.

Долота, выпускаемые промышленностью, имеют специальное условное обозначение, называемое шифром долота. Например, долото Ш132С-ГНУ2 расшифровывается следующим образом: Ш — трехшарошечное; 132 — диаметр долота в мм; С — тип долота (для бурения пород средней твердости); Г — вид промывки (боковая гидромониторная); НУ — вид опоры (герметизированная, маслонаполненная на одном подшипнике скольжения, остальные подшипники качения); 2 — номер заводской модели.

Классификация типов буровых шарошечных долот и область их применения представлена в табл. 4.9.

При бурении скважин в мягких породах (до IV категории по буримости) применяются лопатные долота режущего типа.

Собственно процесс разрушения мягких пород не вызывает особых затруднений, лопатное долото режет породу с глубоким внедрением в забой твердосплавных резцов. Производительность бурения во многом зависит от степени очистки забоя от выбуренной породы и выноса ее на поверхность.

В зависимости от типа разрушаемой породы лопатные долота подразделяются на две группы: долота типа М для бурения мягких пород и долота типа МС — для бурения мягких пород с включением пород средней крепости.

Удельная осевая нагрузка на долото типа М составляет 1,5—5 кН на каждый сантиметр диаметра долота. Обычно ее повышают с увеличением твердости пород. При бурении вязких пород осевую нагрузку уменьшают, чтобы избежать заклинивания долота. Частота вращения лопатных долот типа М меняется в широких пределах и практически составляет 50—400 об/мин.

В зависимости от диаметра долота осевая нагрузка колеблется от 2 до 6 кН на каждый сантиметр диаметра долота.

Выбор способа бурения скважины. Способ бурения скважины выбирается исходя из ее назначения, горно-геологических условий работ и сложившихся традиций.

В настоящее время в практике буровых работ используют следующие основные способы бурения.

1. Вращательное бурение с прямой циркуляцией очистного агента;
2. Вращательное бурение с обратной циркуляцией очистного агента;
3. Ударно-канатное бурение;
4. Шнековое бурение.

Вращательное бурение может осуществляться установками роторного, вращательного или колонкового (шпиндельного) типа. Для интенсификации вращательного бурения могут использоваться гидро и пневмоударники. Такое бурение называют гидро- или пневмоударным. В качестве очистных агентов при вращательном бурении используют воду, естественные, глинистые или любые другие растворы, воздух, газожидкостные смеси.

Обратная циркуляция может осуществляться с помощью одинарной либо двойной колонны труб.

В случае двойной колонны труб такое бурение называют с гидро-пневмотранспортом керна.

Наиболее широкое применение на практике (более 80 %) получило вращательное бурение с прямой промывкой. Этот способ характеризуется простой универсальностью, экономической выгодой и возможностью реализации типовых проектов.

Другие способы бурения в определенных узких условиях эксплуатации могут дать более выгодные результаты, но они не обладают универсальностью и при изменении условий применения, что в геологии встречается довольно часто, могут не оправдать ожидания.

Рассмотрим основы вращательного способа с прямой промывкой.

Параметры промывки скважины. Решающее влияние на показатели бурения в мягких и средних по твердости горных породах имеет режим очистки скважины от выбуренной породы. Большое значение при этом имеет и количество подаваемой промывочной

жидкости, и технологические параметры промывочной жидкости — так как оба эти фактора оказывают в конечном итоге существенное влияние на скорость бурения.

Количество подаваемой промывочной жидкости (Q , л/с) должно обеспечивать полное удаление шлама из скважины. В противном случае происходит не только снижение механической скорости бурения, но и увеличивается интенсивность абразивного износа породоразрушающего инструмента. Кроме того, недостаточное количество подаваемой промывочной жидкости способствует образованию «сальников», что приводит к «затяжкам» инструмента, и, как следствие, необходимости проработки ствола скважины, что существенно снижает производительность работ, увеличивает риск возникновения аварий в виде прихвата инструмента или обрыва бурильных труб.

Многочисленные научно-исследовательские и экспериментально-промышленные работы позволяют однозначно утверждать, что при увеличении подачи промывочной жидкости скорости бурения возрастают. Зависимость механической скорости бурения от скорости восходящего потока жидкости имеет следующий вид

$$V_{\text{мех}} = \frac{V_{\text{в}} F_{\text{к}}}{20 F_3}, \quad (4.9)$$

где $V_{\text{тех}}$ — механическая скорость бурения, м/час, $V_{\text{в}}$ — скорость восходящего потока промывочной жидкости, м/с, $F_{\text{к}}$ — площадь кольцевого пространства, м^2 , F_3 — площадь забоя скважины, м^2 .

Из приведённой зависимости видно, что одним из главных направлений повышения скорости бурения является увеличение скорости восходящего потока. Этого можно добиться путём использования более производительных буровых насосов.

Для условий удовлетворительного удаления шлама минимально допустимая скорость восходящего потока в затрубном пространстве должна быть не менее 0,5 м/с. Минимальное значение подачи бурового насоса можно определить по формуле

$$Q_{\text{min}} = \frac{\pi}{4} (D_{\text{д}}^2 - d^2) \cdot V_{\text{в}}, \quad (4.10)$$

где $D_{\text{д}}$ и d — соответственно диаметры долота и бурильных труб, м; $V_{\text{в}}$ — скорость восходящего потока в затрубном пространстве, м/с.

В случае если нельзя обеспечить скорость восходящего потока промывочной жидкости на уровне 0,5 м/с и выше, необходимо переходить на бурение с пониженной осевой нагрузкой, что естественно отразится на скорости бурения.

Для увеличения скоростей восходящего потока, а следовательно и скоростей бурения, могут быть использованы специальные устройства, разработанные специалистами ЗАО «Русбурмаш» (авторское свидетельство Д.Н. Башкатов и др.) — турбулизаторы — включаемые в компоновку бурильной колонны.

Турбулизатор изготавливается из заготовки УБТ. Диаметр турбулизатора определяется как $D_{\text{ТУРБ}} \approx 0,8 D_{\text{Д}}$ ($D_{\text{Д}}$ — диаметр долота). Лопастей устанавливаются в пазы корпуса под углом $\alpha = 15\text{—}20^\circ$ к вертикали. Торцевые поверхности армируются твёрдым сплавом.

Турбулизатор сообщает дополнительную вертикальную скорость потоку промывочной жидкости $V_{\text{в}}$

$$V_{\text{в}} = \frac{\omega \cdot R \cdot k}{\text{ctg}\alpha \cdot \text{ctg}\beta}, \quad (4.11)$$

где ω — угловая скорость вращения; R — радиус лопасти; k — коэффициент, учитывающий проскальзывание жидкости на лопатке, $k \approx 0,85$; α — угол наклона лопасти турбулизатора; β — угол подъёма потока.

Расчёты по приведённой формуле показывают, что при бурении он сообщает дополнительную вертикальную составляющую скорости восходящего потока порядка 0,15 м/с. Это будет способствовать лучшей очистке забоя за счёт ликвидации так называемых «застойных зон» в затрубном пространстве.

В качестве турбулизаторов могут использоваться серийные калибраторы типа КЛС (КЛСН-190,5) со спирально-винтовыми канавками.

Турбулизаторы являются эффективным средством борьбы с образованием сальников и стабилизируют работу низа бурильной колонны.

Ещё одним путём увеличения скорости восходящего потока является использование буровых растворов с пониженной плотностью. Многочисленными исследованиями доказано, что чем выше плотность бурового раствора, тем существенно снижаются скорости бурения, причём это снижение может достигать десятков про-

центров. Т.е., для повышения скорости бурения необходимо максимально, насколько это позволяют геологические условия и свойства буримых пород, снизить плотность бурового раствора. Самым оптимальным решением является бурение с использованием в качестве промывочной жидкости безглинистых водополимерных растворов, хотя их использование возможно не для всех геологических условий.

Повышения скорости потока промывочной жидкости можно добиться за счёт уменьшения площади кольцевого зазора между бурильными трубами и стенками скважины, что видно из следующей зависимости:

$$V_{\text{в}} = \frac{Q}{F_{\text{к}}}, \quad (4.12)$$

где $V_{\text{в}}$ — скорость восходящего потока; Q — производительность бурового насоса; $F_{\text{к}}$ площадь кольцевого зазора.

Добиться уменьшения площади кольцевого зазора можно двумя способами:

- использовать бурильные трубы большего диаметра. Однако такое решение не всегда является рациональным, т.к. требует использование более мощной буровой техники и значительно усложнит проведение спуско-подъёмных операций;
- максимально уменьшить диаметры бурения. Такой способ является наиболее эффективным, так как помимо увеличения скоростей обеспечивается не только переходом на меньший диаметр бурения, но и увеличением скорости восходящего потока.

Что касается технологических параметров буровых растворов, то для условий бурения, при которых геологический разрез в основном представлен слабоустойчивыми породами, общие рекомендации сводятся к следующему:

- максимально возможное (в зависимости от свойств буримых пород и обеспечения устойчивости стенок скважины) понижение плотности бурового раствора. Наиболее хорошие показатели бурения достигаются при использовании безглинистых водополимерных растворов (водогипановые, водно-КМЦ-гипановые и др.) или малоглинистые растворы с добавками полимеров (с плотностью не более 1,08 г/см³);

- снижение водоотдачи до 10—14 см³/30 мин. Хотя понижение водоотдачи приводит к некоторому снижению скорости бурения, зато позволяет без геологических осложнений вести бурение в неустойчивых и склонных к набуханию породах. В качестве понизителей водоотдачи могут быть использованы КМЦ, углещелочной реагент (УЩР), гипан;
- использовать для приготовления раствора высокосортный глиноматериал (бентониты). При отсутствии такой возможности необходимо обязательно добавлять в раствор кальцинированную соду.
- при использовании в качестве промывочной жидкости ма-логлинистых растворов необходимо доводить вязкость по СПВ-5 до 22—27 с, используя для этого полимерные добавки (К-4, К-9, гипан, КМЦ и др.). Повышение вязкости улучшает несущие свойства промывочной жидкости, оказывает смазывающее действие, уменьшает поглощение.
- если по стволу скважины встречаются «пучащие» глины, необходимо вводить в состав раствора вещества, препятствующие их набуханию (ингибиторы), что позволит избежать геологических осложнений при бурении и спуске обсадных колонн;
- обеспечивать минимальное содержание песка.

Наиболее часто встречающееся геологическое осложнение, возникающее в процессе бурения — наличие по стволу скважины поглощающих горизонтов. При этом расход промывочной жидкости может доходить до катастрофического — более 30 м³/ч, что серьёзно усложняет проведение буровых работ. При проведении работ в удалённости участка от источников водоснабжения эта проблема становится особенно актуальной и от её решения во многом зависит эффективность буровых работ.

Расчет и выбор элементов бурильной колонны. Правильный выбор компоновки бурильной колонны позволяет получить не только высокие скорости бурения, но и обеспечивает безаварийную работу бурильного вала, препятствует интенсивному отклонению оси скважины от заданного направления.

Основными элементами бурильной колонны являются: ведущая труба, бурильные трубы, утяжелённые бурильные трубы (УБТ) и их замковые соединения, долото. Кроме этого, в состав бурильной колонны могут входить расширители, различные опорно-центрирующие элементы, переходники.

Основная функция бурильной колонны — передача вращения, нагрузки и транспортировка бурового раствора к долоту.

При выборе компоновки бурильной колонны следует учитывать, что она должна удовлетворять следующим требованиям:

- выдерживать все приложенные нагрузки и иметь длительный срок службы;
- обеспечивать минимальные гидравлические сопротивления при циркуляции промывочной жидкости;
- минимизировать отклонение оси скважины от заданного направления.

Бурильная колонна состоит из двух частей: из верхней, собственно колонны бурильных труб, и нижней — компоновки низа бурильной колонны (КНБК), в которую входят долото, опорно-центрирующие элементы и УБТ. При бурении вертикальных скважин КНБК должна обеспечивать необходимую жёсткость низа бурильной колонны, для предотвращения интенсивного искривления скважины, поддержания цилиндрической формы ствола и создания необходимых осевых нагрузок. При выборе КНБК для определённых условий бурения, необходимо учитывать, что максимальная осевая нагрузка в процессе сооружения скважины не должна превышать 0,75 от веса используемого УБТ, что даёт возможность осуществлять бурение с нагрузкой, подвешивая верхнюю часть бурового снаряда на лебёдке, а осевая нагрузка создаётся только весом УБТ (в этом случае нейтральное сечение будет приходиться на УБТ). Отношение диаметра долота к диаметру УБТ должно быть в пределах 0,75—0,8.

При выборе компоновки бурильной колонны следует учитывать, чтобы она могла обеспечить максимально возможную для имеющихся условий простоту работы с бурильными трубами. Речь идёт о затратах времени на проведение спуско-подъёмных операций, так как при бурении скважин глубиной более 300 м именно этот показатель становится одним из главных, в значительной степени определяющим эффективность буровых работ.

Если принимать в расчёт только прочностные свойства и обеспечение минимальных гидравлических сопротивлений при циркуляции промывочной жидкости, лучшие результаты будут достигнуты при использовании бурильных труб с большим диаметром. Использование таких труб позволит также получить более высокие скорости восходящего потока, что улучшит качество промывки скважины. В то же время, их использование сильно усложнит спуско-подъёмные

операции и увеличит затраты времени на их проведение, т.к. практически отсутствуют средства механизации СПО при работе с такими трубами. Кроме того, в этом случае существенно увеличится вес буровой колонны, что потребует применение более мощного бурового оборудования или использование более сложных талевых оснасток. Для условий месторождения с глубиной залегания рудного тела свыше 500 м все это приведёт к заметному снижению технико-экономических показателей бурения.

При работе с бурильными трубами меньшего диаметра, прочностные характеристики которых также соответствуют рассматриваемым условиям бурения, есть возможность для высокого уровня механизации СПО и значительного сокращения затрат времени на их проведение. Однако они не позволяют использовать буровые насосы с повышенной производительностью, т.к. возникающие гидравлические сопротивления будут слишком велики, а недостаточное количество промывочной жидкости не позволит получить высокие скорости бурения.

Как видно из вышеизложенного, выбор бурильных труб подразумевает нахождение оптимального соотношения их прочностных характеристик, минимальных гидравлических сопротивлений, позволяющих использовать насосы повышенной производительности и упрощение производства спуско-подъёмных операций.

Режим бурения. Производительность бурения скважин в значительной степени зависит от правильно подобранных параметров режима бурения: осевой нагрузки на забой P , расхода промывочной жидкости Q и частоты вращения передаваемой породоразрушающему инструменту n .

При бурении скважин сплошным забоем, из трёх перечисленных параметров наименьшее влияние на производительность оказывает частота вращения долота n (при условии, что остальные параметры выдерживаются в требуемых пределах). В большинстве случаев частота вращения долота не превышает 200—250 об/мин. Увеличение частоты вращения выше указанных значений приводит к незначительному увеличению скорости бурения, но при этом резко увеличивается износ долота и интенсивность искривления ствола скважины.

В более значительной степени влияет на производительность бурения осевая нагрузка P . Её величина выбирается в зависимости от физико-механических свойств горных пород, типа и диаметра ис-

пользуемых долот. При выборе осевой нагрузки следует учитывать, что её увеличение выше рекомендуемых значений способствует усилению интенсивности износа долота и искривления оси скважины, увеличивает риск возникновения аварийных ситуаций. Для контроля за величиной осевой нагрузки, буровые установки в обязательном порядке должны быть оснащены соответствующими приборами (динамометры, ГИВ-6 и т.д.).

Осевая нагрузка рассчитывается по следующей формуле:

$$P = P_{уд} \cdot D_d \quad (4.13)$$

где $P_{уд}$ — удельная нагрузка на 1 мм диаметра долота, Н; D_d — диаметр долота, мм.

На основании опыта бурения скважин и экспериментальных исследований в зависимости от физико-механических свойств пород и типа долота выбирают удельные (осевые) нагрузки (Н/мм) при бурении шарошечными долотами (табл. 4.10).

Наиболее существенным фактором (особенно при бурении в породах I—IV категории по буримости), обеспечивающим высокую производительность бурения, является расход промывочной жидкости Q . Без обеспечения полного выноса шлама из скважины получение высоких скоростей бурения невозможно. Кроме снижения скорости бурения, недостаток количества подаваемой промывочной жидкости, способствует более интенсивному износу инструмента и увеличивает вероятность возникновения геологических осложнений при бурении. Поэтому для обеспечения максимальной производительности буровых работ, величина Q должна быть не меньше рассчитанного значения.

Таблица 4.10

Удельная (осевая) нагрузка (Н/мм) при бурении шарошечными долотами в зависимости от физико-механических свойств пород и типа долота

Тип долота	Категория пород по буримости					
	I—II	III	IV—V	VI—VII	VIII—IX	X—XII
М	150—200	200—300	—	—	—	—
С	—	—	200—300	200—300	—	—
Т	—	—	—	250—350	250—400	—
К	—	—	—	—	250—400	—
ОК	—	—	—	—	300—500	400—500

Специальный инструмент для расширения ствола скважины. Основные непроизводительные потери напора в системе скважина-пласт приходится на околоскважинную зону, которая часто бывает закольматированной. В оптимальном случае конструкция скважины должна предполагать удаление закольматированной породы из ствола, образование каверны заданного профиля с последующим заполнением её высокопроницаемым материалом. Для создания каверны в околоскважинной зоне применяется специальный инструмент — скважинные расширители.

В зависимости от того, имеют ли расширители выдвижные рабочие органы или нет, все они могут быть разбиты на две группы — раздвижные и нераздвижные.

Раздвижные расширители имеют разные размеры в транспортном и рабочем положении. После спуска расширителя в заданный интервал из его корпуса выдвигаются рабочие органы, которые после окончания расширения убираются обратно. По характеру приведения в рабочее положение раздвижные расширители делятся на механические, гидравлические и инерционные (два последних вида наиболее распространённые).

Выход породоразрушающих органов в гидравлических расширителях обеспечивается давлением промывочной жидкости, развиваемым буровым насосом. В некоторых моделях величина выхода лопастей зависит от давления развиваемого насосом. Закрытие рабочих органов обычно происходит под действием возвратного усилия пружины или от реакции стенок скважины при прекращении промывки.

В инерционных раздвижных расширителях приведение в рабочее положение осуществляется под действием на породоразрушающий орган центробежных сил, возникающих при вращении инструмента. При остановке вращения рабочие органы убираются под действием собственного веса.

Классификация нераздвижных расширителей осуществляется по характеру их воздействия на породу. По этому признаку они разделяются на гидромониторные, эксцентровые и комбинированные.

Работа гидромониторных расширителей основана на гидродинамическом воздействии высоконапорной струи промывочной жидкости, истекающей из насадок на горную породу. Для приведения гидромониторного расширителя в рабочее положение требуется создать промывку с заданным расходом промывочной жидкости и создания расчётного перепада давления на насадках. При прекращении промывки работа расширителя прекращается.

Эксцентровые расширители имеют смещённую относительно оси скважины эксцентричную массу, которая за счёт центробежных сил, возникающих при вращении колонны буровых труб, начинает разрушать боковую поверхность скважины, увеличивая её диаметр.

Нераздвижные расширители комбинированного типа производят расширение как за счёт гидродинамического воздействия на породу высоконапорной струи промывочной жидкости, так и её механического разрушения. Для приведения расширителя комбинированного действия в рабочее положение необходимо обеспечить циркуляцию промывочной жидкости с определённым расходом и перепадом давления, и вращение колонны.

Классификация скважинных расширителей приведена на рис. 4.3.

Достаточно широкое применение в практике сооружения геотехнологических скважин и гидродобычи нашли гидромониторные расширители. Учитывая требования к конструкциям скважин данного назначения, предусматривающих расширение до большого диаметра, создание подземных камер, разработка инструмента осуществлялась двумя путями. Первый заключается в снижении пластового давления и осушении ствола скважины до интервала, в котором работает гидромонитор. Работа расширителя в этом случае сопровождается откачкой эрлифтом или гидроэлеватором. При работе гидромонитора в воздушной среде его разрушающее воздействие многократно увеличивается в сравнении со скважиной, заполненной жидкостью. В связи с этим появляется возможность создания в интервале расширения полостей существенных размеров.

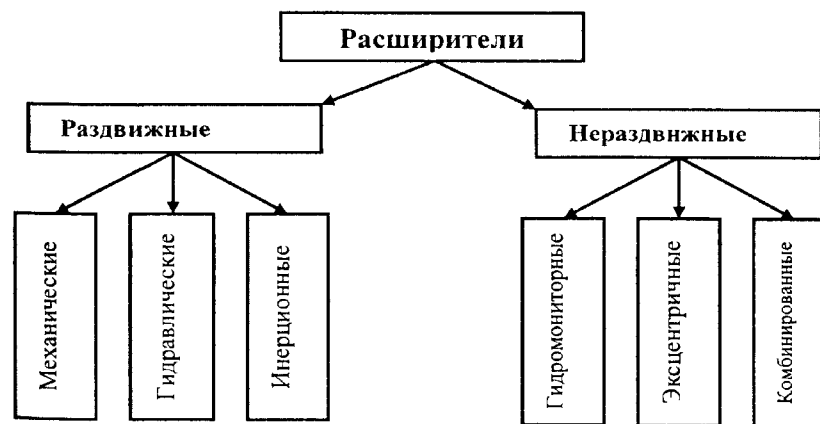


Рис. 4.3. Классификация скважинных расширителей

4.5. Современные буровые установки

Для выполнения работ по сооружению скважин на объектах СГД в России и в странах СНГ используются буровые установки вращательного бурения, оснащенные, в зависимости от типа станка, ротором, шпинделем или подвижным вращателем.

К роторным установкам относится целый ряд модифицированных установок типа УРБ и БА производства Кунгурского машиностроительного завода, надежно зарекомендовавшие себя на протяжении многих лет.

Наиболее подходящими по технической характеристике для условий бурения на месторождениях с ориентировочной глубиной скважин 500 м, являются унифицированные самоходные буровые агрегаты УРБ-3А3.02, УРБ-3А3.13 и УРБ-3А3.051.

Основное оборудование буровой установки УРБ-3А3.02 (буровой блок, ротор Р410, двухбарабанная лебедка, мачта высотой 18,6 метров, буровой насос НБ-50, генератор, вертлюг) на шасси МА3-5337.

Буровая установка УРБ-3А3.13 монтируется на шасси высокой проходимости Урал-4320-1912-30 и имеет все конструктивные особенности буровой установки УРБ-3А3.02, от которой отличается автономным дизельным двигателем ЯМЗ-236 с КПП и пневмосистемой управления буровой установкой.

УРБ-3А3.051 разработана ОАО «Кунгурский машиностроительный завод» совместно с ЗАО «Русбурмаш» и Навоийским горно-металлургическим комбинатом с тенденцией повышения мощности насосного оборудования. Грузоподъемность установки увеличена до 200 кН.

Основное оборудование буровой установки УРБ-3А3.051 включает в себя буровой блок, ротор-ключ Рк-410, двухбарабанную лебедку, мачту высотой 18,6 метров, два буровых насоса НБ-50 или один насос НБ-125, генератор, вертлюг, которое размещается на шасси тракторного прицепа ОЗТП-8470;

По заказу потребителя дополнительно поставляются:

- насосно-силовой блок НП15А с насосом типа НБ125 на автоприцепе МА3-8925;
- компрессорный блок ПК15Б на автоприцепе МА3-8925 для освоения скважин;

- инструментальный блок БА15—71сб на автоприцепе МА3-8925 для перевозки бурильных труб длиной до 6 м;

- балкон верхового рабочего, подсвечник, гидросмеситель, гидравлический механизм подачи инструмента на забой, однобарабанная лебедка, мачта высотой 19,7 м, гидрораскрепитель.

Буровые установки УРБ-3А3.02, УРБ-3А3.13, УРБ-3А3.051 имеют следующие достоинства:

- пневматическое управление основными механизмами (УРБ-3А3.13, 051), которое повышает оперативность и уменьшает усилие на рычагах управления, а ручное дублирование обеспечивает высокую надежность управления установкой;

- широкий диапазон скоростей на лебедке и роторе позволяет успешно вести подбор режима бурения скважин.

- имеющиеся на установке средства механизации создают удобства в работе, и повышают безопасность труда, облегчают вспомогательные и ремонтные работы, сокращая время их проведения.

Техническая характеристика установок приведена в табл. 4.11.

На рис. 4.4 представлена принципиальная схема унифицированных буровых установок типа УРБ и БА.

Таблица 4.11

Техническая характеристика буровых установок УРБ-3А3.02, УРБ-3А3.13 и УРБ-3А3.051

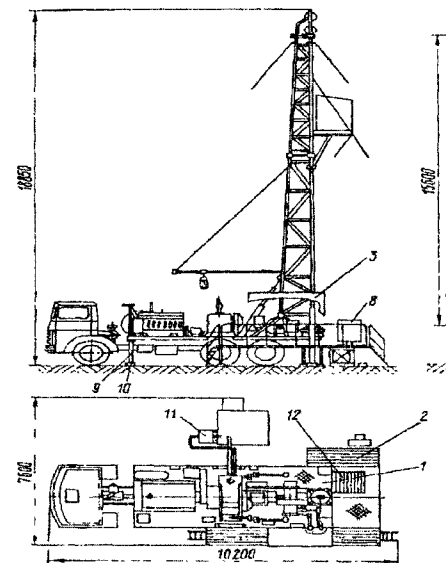
Буровые установки	УРБ-3А3.01, УРБ-3А3.13	УРБ-3А3.051
Грузоподъемность, кН (тс)	200 (20)	
Условная глубина бурения, м: трубами диаметром 60,3—63,5 мм трубами диаметром 73—89 мм	700—600 400—300	700—600 600
Рекомендуемый диаметр бурения трубами, мм: начальный, мм конечный, мм	60,3—63,5 243 93	
Силовой привод	73—89 349 190	
Потребляемая мощность, кВт (лс)	Автономный дизельный двигатель ЯМЗ-236 (УРБ-3А3.02) или ЯМЗ-236 с коробкой передач (УРБ-3А3.13)	Автономный дизельный двигатель ЯМЗ-238 с коробкой передач

Продолжение табл. 4.11

Буровые установки	УРБ-ЗА3.01, УРБ-ЗА3.13	УРБ-ЗА3.051
Лебедка: тип скорость подъема бурового снаряда, м/с	2-х барабанная 0,2...1,48	2-х барабанная 0,168...1,88
Мачта: тип расстояние от стола ротора до кронблока, м длина бурильной свечи, м	Складывающаяся с открытой передней гранью 15,5 12	
Ротор: диаметр проходного отверстия стола, мм максимальный момент силы, Н·м (кгс·м) основные частоты вращения, с-1 (об/мин)	Р410 410 7850 (800) 0,6 (36)...4,48 (269)	РК410 410 7850 (800) 0,51 (31)...5,77 (346)
Насос поршневой буровой: максимальная объемная подача, м ³ /ч (дм ³ /с) максимальное давление на выходе, МПа (кгс/см ²)	НБ-50 40 (11) 6,3 (63)	Два НБ-50 80 (22) 6,3 (63)
Вертлюг: грузоподъемность, кН 9тс0 диаметр проходного отверстия, мм	БА15—33Гсб 200 (20) 60	
Генератор: мощность, кВт напряжение, В	30 400/230	
Механизм подачи гидравлический: усилие вниз, кН 9тс0 усилие вверх, кН 9тс0 ход подачи, мм	35 (3,5) 50 (5,0) 600	
Балкон верхового рабочего: емкость, шт/м	84/1000 (бурильные трубы Ø 60,3—63,5 мм, свечой 12 м)	
Подсвечник: допускаемая нагрузка, кН (тс)	200 (20)	
Габаритные размеры буровой установки (транспортные), мм:	9880 x 2500 x 3750	
Масса полного комплекта оборудования, кг	19 500, 22 500	19 700

Рис. 4.4. Принципиальная схема унифицированных буровых установок типа УРБ и 1БА:

1 — блок буровой (двигатель, насос буровой, коробка передач, лебедка, раздаточный редуктор и т.д.); 2 — мостки буровые; 3 — укрытие бурильщика; 4 — рукав буровой; 5 — труба рабочая; 6 — вертлюг с траверсой; 7 — укрытие верхового; 8 — установка индикатора веса; 9 — домкраты переносные; 10 — брусья опорные; 11 — гидросмеситель; 12 — подсвечник



На отечественном рынке имеется лишь одна установка с вращателем шпиндельного типа ПБУ-1200ПГП, которая наиболее приемлема для рассматриваемых условий.

Передвижная буровая установка ПБУ-1200ПГП предназначена для бурения эксплуатационных скважин на воду до 1200 м в различных по твердости породах. Буровая установка ПБУ состоит из пневмогидравлической платформы на колесах автомобиля БелАЗ-340 (ПБУ-1200) или на санях (ПБУ-75СП), утепленного рабочего помещения с порталом и усиленной буровой мачты. Установка мачты в рабочее положение и обратно производится гидроподъемником, что сокращает время на монтаж-демонтаж установки на месте производства работ. Буровой станок ЗИФ-1200МР и буровой насос типа АНБ-22 (НБ-32, НБ50) находятся в защищенном от атмосферных осадков рабочем помещении, которое оснащается отопительным электрооборудованием и различной контрольно-измерительной аппаратурой.

Механизация спускоподъемных операций обеспечивается применением трубоизвращения РТ-1200М и полуавтоматического элеватора МЗ-50-80-2. Буровая установка надежна и удобна в эксплуатации.

В табл. 4.12 приведена техническая характеристика ПБУ-1200ПГП.

Также заслуживает внимания буровая установка УБВ-215, выпускаемая ОАО «Геомаш».

Основные технические показатели буровой установки УБВ-215 приведены в табл. 4.13.

Таблица 4.12.

Техническая характеристика буровой установки ПБУ-1200ПГП

Параметры	Значения
Глубина бурения, м	1200
Диаметр бурения начальный, мм	390
Диаметр бурения конечный, мм	93
Мощность привода, кВт	55
Тяговое усилие лебедки, кН	50
Частота вращения шпинделя, мин ⁻¹	75—600
Транспортная база	пневмогидравлическая платформа/сани
Габариты в рабочем положении, мм	2330x4400x5800

Таблица 4.13.

Техническая характеристика буровой установки УБВ-215

Параметры	Значения
Усилие подачи, кгс	6000
Усилие обратного хода, кгс	12000
Ход подачи, м	7000
Частота вращения шпинделя, об/мин	14—268
Крутящий момент, макс., кгм	1200
Условная глубина бурения с промывкой, макс., м	600
Диаметр бурения с промывкой (нач./кон.), макс., мм	600/215
Диаметр применяемого бурового инструмента для бурения с прямой промывкой, мм	63,5
Механизм подачи вращателя	канатно-гидравлический
Высота до оси кронблока, мм	11440±50
Грузоподъемность вспомогательной лебедки, кг	не более 800
Компрессор типа ПК-5,25: производительность м ³ /мин; максимальное рабочее давление, МПа (кгс/см ²)	5,25 0,7(7)

Многоцелевая буровая установка **УБВ-215** имеет подвижной вращатель в виде цилиндрического редуктора с гидроприводом. Вращатель снабжен гидропатроном, отодвигается для освобождения

устья скважины и имеет возможность поворота в вертикальной плоскости для перемещения и укладки бурильных труб. Грузоподъемность установки на крюке до 20 т. Монтируется на автомобиле УРАЛ 4320-1912-30. Привод установки осуществляется от двигателя автомобиля через коробку отбора мощности.

Спуск обсадных колонн диаметром 219—530 мм производится с помощью лебедки и трубодержателя. Возможна посадка обсадных труб посредством вращателя. Механизация наращивания и спускоподъемных операций обеспечивается благодаря совместной работе поворотного вращателя с гидропатроном и трубодержателя. Гидропатроном вращателя производится захват труб за замок и перевод их из вертикального положения в горизонтальное при подъеме и в вертикальное — при наращивании и спуске, а также производится свинчивание и развенчивание. При отвинчивании затянутых соединений бурильных труб возможно применение трубораскрепителя, представляющего собой гидроцилиндр, развивающий усилие не менее 2000 кг и работающий в сочетании с отбойными ключами.

Буровая установка может иметь соответствующую комплектацию (по требованию):

- два буровых насоса НБ-50 и один компрессор ПК-5.25;
- два компрессора ПК-5.25 и один насос НБ-50;
- два буровых насоса НБ-50;
- два компрессора ПК-5.25;
- один буровой насос НБ-50 и один компрессор ПК-5.25;
- гидроприводной раскрепитель резьб;
- гидроприводной трубодержатель;
- вспомогательная гидроприводная лебедка с укосиной, грузоподъемностью до 800 кгс;
- элеватор;
- патрон безопасный;
- электростанция АД-4;
- сварочный генератор АДС-500;
- прицеп типа СМЗ-8325 или ГКБ-817 с укладкой бурового инструмента 4000 кг и 8100 кг соответственно.

Из-за своей простоты, технологичности и относительной дешевизны отечественные буровые установки до сих пор поставляются во многие страны мира. Следует отметить, что эксплуатация их не требуют достаточно высококвалифицированного специального обслуживания и использования дорогостоящих материалов.

Выбор буровой установки

Следует отметить, что в России не выпускаются специальные буровые установки, в полной мере удовлетворяющие требованиям процесса сооружения скважин СГД. Поэтому при выборе буровой установки из широко представленного парка оборудования, кроме основных технических данных следует в первую очередь учитывать следующие показатели, учитывающие непрерывность производственного процесса:

- исполнение всех силовых узлов установки на отдельном прицепе, что с экономической и организационной сторон является достаточно обоснованным при бурении сети скважин с расстоянием между ними 10—100 м;
- наличие специального оборудования для приготовления и закачивания технологических смесей;
- размещение бурового оборудования и приустьевой рабочей площадки в закрытом помещении или надежном легко монтируемом и демонтируемом укрытии.

Кроме того, основным критерием при выборе буровой установки в большей степени является научно обоснованная та или иная технологическая схема сооружения скважины, которая прак-

тически проверяется и корректируется после бурения одной, двух скважин в конкретных условиях.

Для эффективной очистки забоя от шлама при бурении скважин диаметром более 200 мм в мягких породах требуются применение насосов с подачей не менее 16—18 л/с, в то время как используемые насосы НБ-125 на практике имеют подачу не более 10 л/с.

Проходка первых 30—40 м скважины установками роторного типа характеризуется низкими скоростями бурения, связанные с применением недостаточно надежного механизма принудитель-

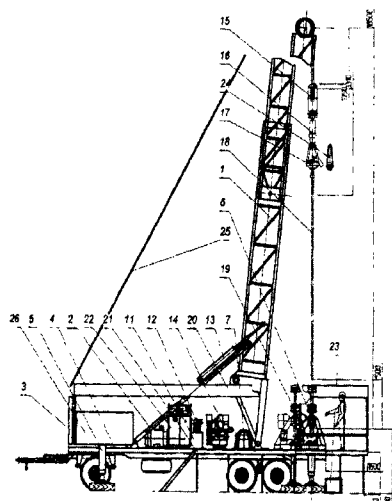


Рис. 4.5. Буровая установка АБР-500 (рабочее положение)

ной подачи для создания требуемой осевой нагрузки на долото. При дальнейшем углублении скважины этот недостаток устраняется с увеличением длины утяжеленных бурильных труб, обеспечивающих соответствующую нагрузку для разрушения породы. Низкий уровень механизации вспомогательных процессов (спускоподъемные операции, наращивание) приводит к повышенным затратам времени на их производство — до 15 % от суммарного времени сооружения скважины глубиной 500—550 м.

Укрытие буровых установок, поставляемое заводом, имеет ряд недостатков и не находит целевого применения. В связи с этим создаются неудобства для обслуживающего персонала при круглогодичном производстве работ.

На рис. 4.5 показан внешний вид нового бурового агрегата АРБ-500. Техническая характеристика и обозначение комплектации бурового агрегата отражены в табл. 4.14 и 4.15.

В дальнейшем буровой агрегат АБР-500 может быть рекомендован для широкого применения для бурения гидродобычных скважин.

Таблица 4.14

Техническая характеристика бурового агрегата АБР-500 (с гидравлическим приводом и телескопической мачтой)

Наименование параметра или характеристики	Значение параметра или характеристики
1	2
Грузоподъемность, т (при 4-х струнной оснастке)	24
Условная глубина бурения, м:	
трубами 0,60,3—63,5 мм	870—750
трубами 0,73—89 мм	750
Углы бурения, град	90
Длина свечи, м	12
Лебедка:	
скорость подъема бурового снаряда, м/с	0,168,1,88
Вращатель с механизмом принудительной подачи инструмента на забой:	
Частота вращения с ⁻¹ (об/мин)	
наибольшая	25(300)
Максимальный момент вращения, Н м (кгм)	10 000(1000)

Продолжение табл. 4.14

Наименование параметра или характеристики	Значение параметра или характеристики
1	2
Скорость подъема снаряда (при 4-х струнной оснастке), м/с	
минимальная	0,168
максимальный	1,5
усилие вниз, кН (тс)	120 (12)
усилие вверх, кН (тс)	150 (15)
ход подачи, мм	600
Промывочный насос (с гидравлическим приводом):	НБ-80 10(100)
Давление на выходе, наибольшее, МПа (кгс/см)	
Мощность, потребляемая насосом, кВт	80
Полезная мощность насоса, кВт	Не менее 63
Ход поршня, мм	200
Частота двойных ходов поршня в минуту	105

Таблица 4.15

**Состав бурового агрегата АБР-500
(с гидравлическим приводом и телескопической мачтой)**

№ п./п.	Наименование	Кол-во	Примечание
1	Мачта складывающаяся, телескопическая	1	
2	Подкосы мачты	2	
3	Опора мачты передняя		
4	Платформа с шасси ОЗТП		
5	Аутригер	6	
6	Вращатель с механизмом подачи		
7	Лебедка грузовая (с гидравлическим приводом)	канат Ø18 мм	
8	Пульт управления		
9	Блок гидропривода лебедки и вращателя		
10	Блок гидропривода бурового насоса		
11	Бак гидравлический со вспомогательным гидронасосом		
12	Блок привода вспомогательного гидронасоса		

Продолжение табл. 4.15

№ п./п.	Наименование	Кол-во	Примечание
13	Гидроцилиндры подъема мачты		
14	Буровой насос НБ — 80 (с гидравлическим приводом)		
15	Блок двухроликковый БИ 249—198А.000	0 = 25 тс	
16	Вертулюг — амортизатор БИ 249—192А.000	0 = 35 тс	
17	Вертулюг — сальник БИ 249 — 248.000	Q* = 35 ТС	
18	Штанга рабочая 80x80	L = 12 М	
19	Механизм свинчивания и развинчивания РТ-1200 (МСП-350)		
20	Укрытие тентовое с металлическим каркасом, разборное		
21	Площадка рабочая		
22	Шкаф электрический		
23	Подсвечник		
24	Элеватор полуавтоматический		
25	Оттяжка кронблока		
26	Емкость металлическая (V = 2—3 м ³)		
27	Лебедка вспомогательная		Q = 3ТС

5. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ СГД

Одной из основных экономических проблем, возникающих при эксплуатации месторождений, является выбор наиболее эффективного способа их разработки.

Задача выбора метода разработки заключается в распределении капиталовложений, обеспечивающих максимальный выход продукции, сокращение сроков строительства предприятия и времени его окупаемости, а также минимальную себестоимость продукта.

Технико-экономические показатели используемого метода разработки, с одной стороны, определяются исходными горно-геологическими и гидрогеологическими условиями серного месторождения, с другой — принимаемыми техническими и технологическими решениями.

Как правило, в результате экономических расчетов определяются оптимальный срок разработки месторождения, мощность предприятия, текущий объем добычи, организация работ, эксплуатационные расходы и т.д. Детальное сравнение различных методов возможно только на стадии ТЭД или даже проектного задания, поэтому ниже рассматриваются лишь некоторые аспекты эффективности разработки месторождения методом СГД.

5.1. Выбор метода разработки месторождения

Эффективность разработки оценивается в первую очередь по трем основным показателям: удельным капитальным вложениям, себестоимости и производительности труда. Кроме этих показателей при оценке вариантов следует учитывать рентабельность, срок окупаемости, время строительства предприятия, коэффициент фондоотдачи, годовой экономический эффект, а также снижение потребности в дефицитном оборудовании и материалах. Например, для разработки месторождения методом СГД не требуется закупать за рубежом роторные экскаваторы, дефицитные реагенты

и т.д., поскольку основное оборудование серийно выпускается отечественной промышленностью.

При оценке вариантов необходимо учитывать также и социальные показатели — условия труда рабочих. В этом плане метод СГД безусловно перспективнее других методов, поскольку он не требует проведения горных работ, которые сопровождаются обычно повышенным травматизмом.

Крупные капиталовложения в строительство новых предприятий горно-добывающей промышленности, работающих по старой технологии, оказываются нерентабельными, поскольку такие предприятия не обеспечивают высоких экономических показателей, а динамика фондоотдачи их, как показали исследования последних лет, явно неудовлетворительна. Это обусловлено, следующими причинами: а) большой трудоемкостью горного производства; б) низкой стоимостью активных фондов горного предприятия; в) высоким удельным весом пассивных фондов предприятия (горных выработок и т.д.). В целом добыча полезного ископаемого обычными методами оказывается весьма фондоемкой и капиталоемкой отраслью производства (в основном за счет горных выработок). Кроме того, в течение всего периода эксплуатации горно-добывающего предприятия приходится регулярно за счет капитальных затрат подготавливать все новые и новые участки для добычи.

Характерной чертой предприятия, работающего методом СГД, являются малые пассивные и увеличенные активные фонды, поскольку метод СГД не требует ведения горных работ (в обычном понимании этого слова), а весь процесс добычи сводится к бурению добычных скважин, их оборудованию и работе по эксплуатации. Технология СГД не требует также огромного задела (выполненного объема) горных работ. Благодаря этому трудоемкость добычи руды резко сокращается. Из сказанного вытекает, что метод СГД требует меньших капитальных затрат, чем другие методы.

Варианты разработки месторождений различными методами следует, прежде всего, сравнивать по экономической эффективности

$$\mathcal{E}_k = (C_1 - l_n K_1) - (C_2 - l_n K_2), \quad (5.1)$$

где l_n — нормативный отраслевой коэффициент сравнительной экономической эффективности (для горной промышленности равен 0,1—0,15); C_1, C_2 — себестоимость руды по сравниваемым вариантам; K_1, K_2 — удельные капитальные затраты по вариантам.

Естественно, что открытая или подземная разработка месторождения целесообразна только до какой-то экономической границы, поэтому в экономических расчетах необходимо устанавливать допустимую себестоимость каждого полезного ископаемого, исходя из различных предпосылок. Максимально допустимая себестоимость равна оптовой цене. В этом случае предприятие не будет иметь экономии от текущих затрат, т.к.

$$C_d = C_o, \quad (5.2)$$

где C_d — допустимая себестоимость руды, у.е./т; C_o — оптовая цена, руб/т.

Допустимая себестоимость продукта определяется исходя из нормативного коэффициента эффективности, капитальных вложений и срока окупаемости

$$C_o = C_o - \frac{K' l_H}{1 - \frac{1}{(1 + l_H)^T}}, \quad (5.3)$$

где T — нормативный срок окупаемости капиталовложений, лет.

В некоторых случаях допустимую стоимость продукта рекомендуется определять с учетом показателя уровня рентабельности \mathcal{E}_p

$$C_o = \frac{C_o}{1 + \mathcal{E}_o}. \quad (5.4)$$

Месторождение, на котором себестоимость полезного ископаемого выше допустимой, эксплуатировать данным методом экономически невыгодно.

В некоторых случаях можно сравнивать различные методы разработки месторождений по их ценности

$$\mathcal{C} = (C_o - C) \cdot Z, \quad (5.5)$$

где \mathcal{C} — ценность месторождения; C — себестоимость руды; Z — запасы полезного ископаемого с учетом потерь.

Необходимо заметить, что оценка, найденная по этой формуле, имеет существенный недостаток — не учитывает объема капиталовложений на строительство предприятия. Однако капитальные вложения довольно просто учесть, заменив себестоимость руды приведенными затратами C_n

$$C_n = C + l_H K'. \quad (5.6)$$

Подставляя значение C_n в формулу, можно сравнивать месторождения по ценности при его разработке различными методами.

При сравнительной оценке методов разработки месторождений необходимо учитывать также показатель рентабельности

$$\mathcal{E}_p = \frac{C_o - C}{K'}. \quad (5.7)$$

Важное значение имеет сопоставление сроков окупаемости строительства T

$$T = \frac{1}{\mathcal{E}_p}. \quad (5.8)$$

Как правило, экономическая эффективность капитальных вложений зависит не только от снижения себестоимости и удельных капиталовложений, но от времени, по истечении которого предприятие начинает приносить доход. Так, А.С. Астаховым установлено, что в зависимости от сроков окупаемости предприятий капиталовложения могут уменьшаться. Например, для угольной промышленности 1 руб. текущих затрат эквивалентен 0,29 руб. будущих затрат (через 15 лет). Это иллюстрирует необходимость учета времени окупаемости при сравнении вариантов разработки.

Важным показателем экономической эффективности методов разработки является коэффициент фондоотдачи, определяемый как выход продукции в рублях на рубль капитальных затрат

$$\mathcal{E}_o = \frac{A C_o}{K}. \quad (5.9)$$

Наряду с перечисленными показателями при оценке различных методов следует принимать во внимание также показатели, характеризующие производительность труда, степень извлечения полезного ископаемого, безопасность работ и т.д.

5.2. Производительность труда при СГД

Известно, что частичная механизация и автоматизация отдельных разобщенных производственных звеньев не могут обеспечить значительное повышение производительности труда и сни-

жение себестоимости продукции по предприятию в целом. Современная тенденция технологии добычи и переработки полезных ископаемых заключается в отказе от многооперационных механизированных процессов и переходе к малооперационным процессам с полным автоматическим управлением. Одним из примеров такой технологии является СГД.

Природа экономических показателей, характеризующих затраты труда и средств на разработку месторождения, определяется всей совокупностью геологических и горно-технических условий производства.

Производительность труда на предприятии по добыче методом СГД зависит от трудоемкости работ по добыче (подготовка к пуску и обслуживание в процессе работы скважины), трудоемкости горно-подготовительных работ (бурение скважин, их оборудование), трудоемкости недобычных работ (затраты труда на производство воды, сжатого воздуха), трудоемкости вспомогательных работ и определяется горно-техническими условиями эксплуатируемого месторождения и применяемыми технологическими параметрами.

Из сказанного следует, что суммарные затраты труда должны определяться путем сложения затрат труда рабочих, занятых непосредственно добычей, затрат труда вспомогательных рабочих и затрат труда инженерно-технического аппарата на анализируемый отрезок времени. Производительность труда на добычных и подготовительных работах будет зависеть от горно-технических условий эксплуатируемого месторождения, глубины залегания рудного тела k , его мощности m , содержания полезного ископаемого S , механических свойств пород и т.д. и от определяемых ими параметров технологии: оптимальной зоны действия скважины (т.е. расстояния между скважинами), запасов руды на скважину и технологического коэффициента извлечения η_r и т.д. В свою очередь, эти параметры определяют производительность труда на недобычных и вспомогательных работах, которая характеризуется расходом воды q_r и сжатого воздуха q_b .

Горно-геологические условия месторождения можно характеризовать производительностью по полезному ископаемому 1 м^2 площади рудного тела

$$P_n = mS\gamma\eta_m, \quad (5.10)$$

где m — мощность пласта содержащего полезный компонент, S — содержание полезного компонента, γ — объемный вес руды, η — технологическое извлечение.

Другим важным показателем производительности пласта является показатель оптимальной добычи с одной скважины. Очевидно, что добыча с одной скважины определяется производительностью пласта, площадью действия скважины F и зоной охвата, которая характеризуется конфигурацией зоны по мощности и определяется коэффициентом потерь η_p

$$P_{\text{скв}} = P_n F \eta_p. \quad (5.11)$$

Отношение производительности пласта на одну скважину к глубине его залегания. Определяет количество руды, которое может быть получено с 1 м скважины

$$\theta = \frac{P_{\text{скв}}}{h}. \quad (5.12)$$

Этот показатель может быть использован для характеристики различных участков месторождений при разработке их методом СГД.

Из приведенных зависимостей видно, что высокая продуктивность скважины, а, следовательно, и производительность труда в значительной степени определяется не только содержанием и мощностью пласта, но и коэффициентом извлечения. Кроме того, производительность труда зависит от радиуса зоны действия скважин, т.е. от расстояния между ними и, конечно, от их глубины.

С учетом сказанного для оценки производительности труда на предприятии можно использовать показатель

$$\Pi = \frac{P}{T_n + T_b + T_i + \frac{P}{\Pi}}, \quad (5.13)$$

где T_n — трудоемкость производства воды, сжатого воздуха, израсходованного на добычу, чел-смен; T_b — трудоемкость вспомогательных работ, чел-смен; T_i — трудоемкость бурения скважин, подготавливаемых к отработке, чел-смен; Π' — производительность труда рабочих, занятых на добыче, т/чел-смену; P — суточная добыча по руднику.

Анализируя приведенные выше зависимости, можно сделать вывод, что увеличение производительности труда при СГД может быть достигнуто за счет оптимизации параметров технологическо-

го процесса и усовершенствования организации труда, направленных на реализацию потенциальных возможностей всех производственных звеньев.

5.3. Анализ некоторых экономических вопросов, связанных со вскрытием месторождения

По существу добычные скважины являются одновременно горно-капитальными, горно-подготовительными и нарезными выработками. Они вскрывают месторождение, подготавливают его к разработке и используют для добычи полезного ископаемого.

Как известно, а все затраты, как основные средства, относятся на амортизацию; горно-подготовительные работы финансируются за счет расходов будущих лет и погашаются себестоимостью полезного ископаемого. Затраты, связанные с нарезными работами, сразу ложатся на себестоимость продукции.

Естественно заключить, что подготовка фронта работ (бурение и оборудование добычных скважин) в период строительства рудника будет вестись за счет горно-капитальных работ. К моменту сдачи рудника в эксплуатацию необходимо подготовить также некоторый резерв скважин, который должен обеспечивать работу предприятия на первое время (двенадцать месяцев).

В связи с незначительным сроком службы добычных скважин и сравнительно небольшой их стоимостью все затраты на воссоздание фронта работ можно относить к затратам на горно-подготовительные работы с погашением их себестоимостью получаемой руды.

Затраты на подготовку месторождения к отработке во многом зависят от глубины, диаметра и сетки расположения скважин. При их анализе нами были приняты два варианта бурения и оборудования.

Исследование показало, что одно лишь уменьшение диаметра добычной скважины (см. табл., 5.1 I и II варианты) позволит снизить суммарные затраты при подготовке скважины на 30 %.

Использование скважин уменьшенного диаметра дает значительную экономию стоимости и монтажа добычного оборудования. Ввиду особой важности фактора, характеризующего затраты металла (в основном труб) на обсадку и оборудование скважин, целесообразно ввести показатель металлоемкости разработки M , который представляет собой отношение веса металла G_m , использованного в скважине, к массе добытой из нее руды G_s :

$$M = \frac{G_m}{G_s}$$

Конструкции скважин

Оборудование и размеры	Варианты	
	I	II
Кондуктор (длина 10 мм):		
диаметр скважины, мм	520	450
диаметр трубы, мм	426	426
Обсадная колонна (до рудного пласта), мм:		
диаметр скважины	394	299
диаметр трубы	299	245
Диаметр водоподающей трубы (на всю глубину скважины), мм	219	168
Диаметр рудоподъемной трубы (на всю глубину скважины), мм	114	89
Диаметр эрлифтной трубы, мм	34	34

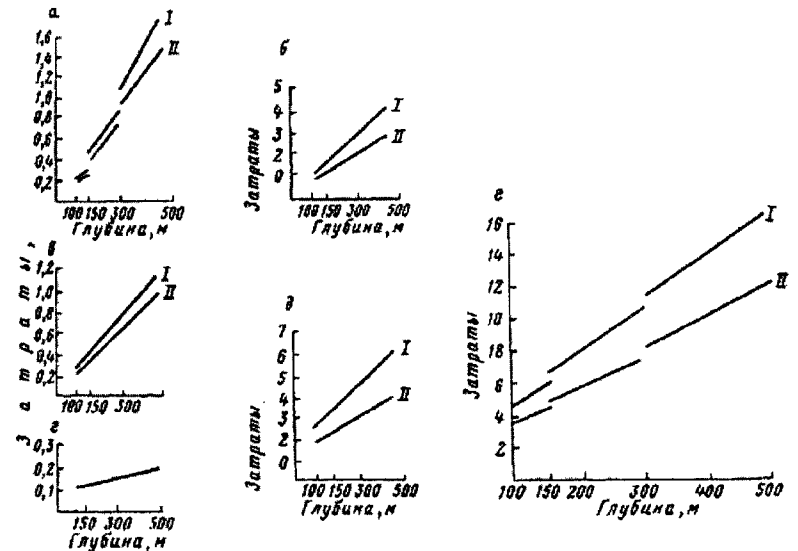


Рис. 5.1. Анализ затрат на горно-подготовительные работы в зависимости от глубины и диаметра добычной скважины: а — затраты на бурение; б — затраты на обсадку; в — затраты на цементацию; г — затраты на геофизические исследования; д — затраты на монтаж и оборудование добычных скважин; е — суммарные затраты; I, II — варианты добычных скважин

На рис. 5.1 представлен анализ затрат на горно-подготовительные работы (по одной скважине) в зависимости от глубины и диаметра добычных скважин.

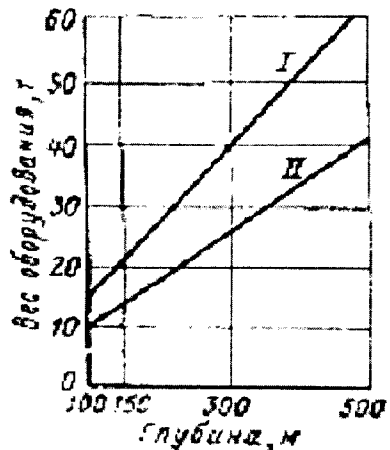


Рис. 5.2. Зависимость веса оборудования (по вариантам) I—II от глубины до обычной скважины

оборудования скважин, за счет уменьшения ее диаметра (уменьшение диаметра во втором варианте дало около 40 % экономии металла только по одной скважине).

Расчет расхода металла на скважину глубиной 500 м показал, что на ее оборудование необходимо по I варианту 63, по II — 42 т.

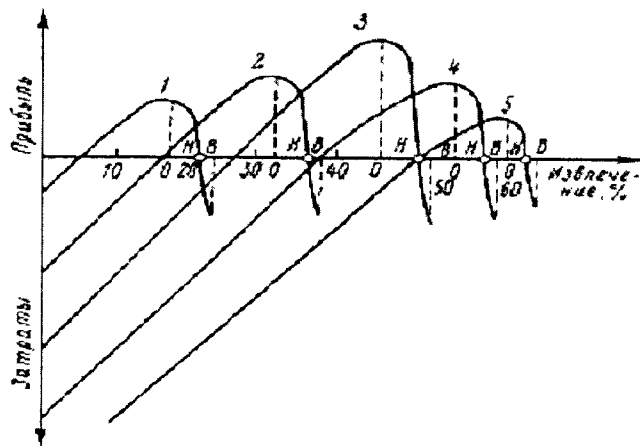


Рис. 5.3. Изменение эффективности разработки месторождения в зависимости от сетки расположения скважин: 1, 2, 3, 4, 5, 6 — кривые соответствующие расстояниям между скважинами 80, 50, 30, 20, 15 м; O — оптимальная эффективность при заданной сетке скважин; H — равенство общих затрат прибылям; B — возможное извлечение со значительным экономическим ущербом

Коэффициент металлоемкости разработки, как один из важнейших экономических факторов разработки, должен учитываться и при анализе сетки расположения добычных скважин, поскольку естественно, что большее извлечение требует и большей густоты расположения сетки скважин, а, следовательно, расхода металла на 1 т добываемой руды.

Анализ различных вариантов оборудования добычных скважин (рис. 5.2) показывает перспективу значительного снижения общего веса металла, требуемого для

Значительные колебания затрат на подготовку в общем объеме расходов на добычу будут зависеть от сетки расположения добычных скважин. Кроме того, от сетки расположения скважин в значительной степени зависят важнейшие показатели новой технологии: извлечение руды, время работы скважины, уровень текущей добычи, количество воды на 1 т руды, степень влияния скважин друг на друга.

Для иллюстрации сказанного приведем пример разработки условного участка одного из месторождений размером 400x300 м, мощностью пласта 15 м. Расчет для различных вариантов сеток скважин (рис. 5.3) показывает динамику эффективности разработки в зависимости от извлечения.

Сетка расположения добычных скважин на месторождении определяет величину затрат на горно-подготовительные работы, тогда как оптимальное расположение скважин во многом зависит от глубины (рис. 5.4).

Эффективность различных вариантов сеток скважин можно оценить по разности сумм реализации продукции и затрат. Из рис. 5.4 видно, что в конкретных условиях наибольший эффект может быть получен при расстоянии между скважинами 15—25 м. Анализ затрат на горно-подготовительные работы показывает, что уменьшение диаметра добычных скважин и рациональное их размещение по площади месторождения с учетом геологических условий (мощности глубины залегания, содержания и т.д.) являются основными факторами, влияющими на стоимость руды при СГД.

5.4. Анализ экономических показателей разработки месторождения

Расчет себестоимости руды при разработке месторождения методом СГД. Себестоимость руды С, полученной методом СГД, зависит от следующих затрат: на производство воды C_1 , сжатого

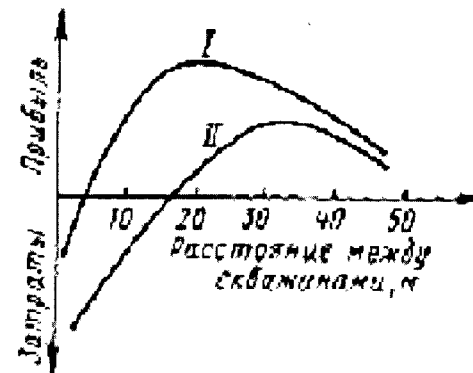


Рис. 5.4. Эффективность отработки месторождения при различных сетках добычных скважин: I — при глубине 100 м; II — при глубине 300 м

воздуха C_2 , на бурение и оборудование добычных скважин C_3 , а также эксплуатационных C_4 и прочих непроизводительных C_5 расходов

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5. \quad (5.14)$$

Затраты на производство воды C_1 в основном зависят от горно-геологических условий разработки, поскольку они определяют удельный расход воды на 1 т руды

$$C_1 = \chi \alpha, \quad (5.15)$$

где χ — количество воды, необходимое на добычу 1 т руды; α — затраты на производство 1 м³ воды.

Из графика, приведенного на рис. 5.6, *a* видно, что затраты на производство воды существенно влияют на конечную себестоимость руды.

Так же затраты на производство сжатого воздуха также зависят от удельного расхода его на откачку 1 т руды. Как показал проведенный анализ, расходы на подготовку месторождения к разработке связаны с затратами на бурение и оборудование добычных скважин и могут существенно изменяться в зависимости от диаметра добычной скважины, мощности вскрываемого рудного тела и глубины его залегания. Наиболее просто и показательно характеризовать затраты на вскрытие C_3 произведением стоимости проходки и оборудования 1 м добычной скважины b на удельный объем скважины y , необходимый для получения 1 т руды

$$C_3 = b \cdot y, \quad (5.16)$$

$$y = \frac{h}{P_{\text{скв}}}. \quad (5.17)$$

Количество руды, полученной из скважины за все время ее эксплуатации, рассчитывается по формуле

$$P_{\text{скв}} = \pi R^2 H \gamma \eta S, \quad (5.18)$$

где R — радиус действия скважины (для расчетов принято $R = 2H$); H — мощность рудного тела в районе скважины; γ — объемный вес руды; S — среднее содержание; η — коэффициент извлечения.

Из рис. 5, *a* видно что затраты на производство воды существенно влияют на себестоимость руды.

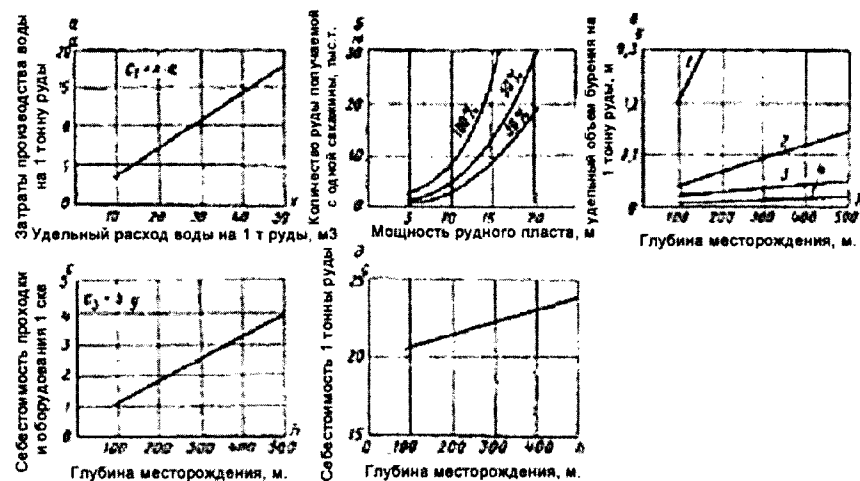


Рис. 5.5. Руды при СГД

a — зависимость затрат на производство воды от его удельного расхода на 1 т; *b* — зависимость количества полученной руды со скважины от мощности пласта и коэффициента корреляции; *в* — зависимость удельного объема бурения от глубины скважины и мощности месторождения; *г* — зависимость затрат по факторам вскрытия от глубины залегания пласта; *д* — зависимость себестоимости 1 т руды от глубины месторождения (мощность пласта 10 м, извлечение 30 %); 1, 2, 3, 4 — соответственно расход воды на 1 т руды 25,10 м³, C_2 , C_4 , C_5 — принято соответственно 0,080; 8,65; 1,77 руб/т; C_1 , C_2 , C_3 , C_4 , C_5 — затраты соответственно на производство воды, сжатого воздуха, бурение, эксплуатационные и общезаводские расходы.

На рис. 5.5, *б* показана зависимость количества извлекаемой из скважины руды от мощности рудного тела (при различном извлечении).

Зависимость удельного объема скважины от глубины разрабатываемого месторождения при различных мощностях рудного тела иллюстрируется рис. 5.5, *в*.

Принимая среднюю (для региона) стоимость проходки и оборудования 1 м скважины по данным предыдущего параграфа, извлечение равным 50 % и мощность рудного тела равной 10 м, определяем зависимость себестоимости руды по фактору вскрытия от глубины разрабатываемого месторождения (см. рис. 5.5, *г*).

На рис. 5.5, *д* показан график зависимости себестоимости руды, полученной методом СГД, от глубины месторождения при мощности рудного тела 10 м и извлечении 50 %. Ясно, что себестоимость руды при добыче этим методом зависит от глубины залегания пласта в гораздо меньшей степени, чем при открытой разработке. Вместе с

тем она может резко возрасти в зависимости от расхода воды, который фактически и определяет экономичность метода СГД. Методом СГД выгодно добывать даже более дорогую по себестоимости руду (чем открытым способом), поскольку этому методу свойственны меньшие удельные капиталовложения и более короткие сроки окупаемости затрат.

В области оценки качества отработки месторождений полезных ископаемых наиболее видное место занимает работа М.И. Агошкова. По этой методике экономические последствия от потерь выражаются разницей между ценностью потерянной части запасов Π_n и денежными возмещениями B_n , которые образуются в результате допущенных потерь в виде снижения издержек производства по добыче и переработке извлеченной части полезного ископаемого, роста производственной мощности предприятия по конечной продукции и размера получаемой прибыли

$$\Xi_m = \Pi_n - C_n = B_n \Pi_n - B_n b_n, \quad (5.19)$$

где B_n и B_n — соответственно количество потерянного и извлеченного полезного ископаемого; Π_n — ценность 1 т потерянного ископаемого; b_n — величина возмещения на 1 т извлеченных балансовых запасов.

Потери в зависимости от конкретных условий могут вызвать как ущерб, так и экономию средств. Описанная методика рассматривает потери с точки зрения утраты возможной прибыли в случае их отработки. Но необходимо учитывать, что отработка теряемых запасов потребовала бы других затрат, а это привело бы к изменению прибыли при их добыче. Допущение об одинаковой ценности полезных ископаемых, обрабатываемых различными методами, также трудно доказуемо.

В качестве критерия оценки эффективности при рассмотрении метода СГД как одного из альтернативных вариантов отработки с учетом различной ценности теряемой части запасов полезного ископаемого можно использовать выражение

$$\Xi = B_n^{СГД} \Pi_n^{СГД} - B_n^0 \Pi_n^0 - B_n^{СГД} b_n^{СГД}. \quad (5.20)$$

Ценность 1 т потерянных балансовых запасов полезного ископаемого может быть определена как сумма затрат на разведку 1 т балансовых запасов d_p , недополученной прибыли с 1 т недоизвлеченных запасов d_{np} и величины капитальных затрат, отнесенной к 1 т балансовых запасов $d_{к.з.}$.

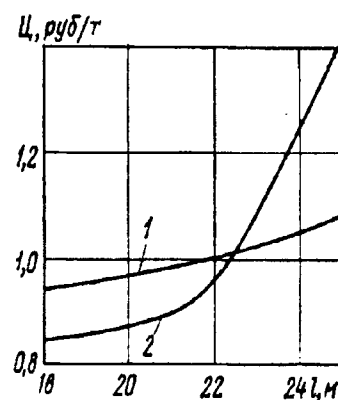


Рис. 5.6. Зависимость ценности 1 т балансовых запасов от глубины залегания рудного тела для условий Кингисеппского месторождения фосфоритов: 1 — при СГД; 2 — при открытых работах

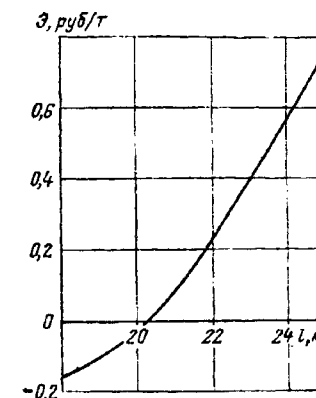


Рис. 5.7. Влияние глубины залегания рудного тела на сравнительную экономическую эффективность методов разработки (открытого СГД) с учетом потерь

Различные методы разработки месторождений полезных ископаемых требуют различной степени детализации запасов, что связано с различными затратами на разведку. Затраты на разведку, отнесенные к 1 т балансовых запасов, определяются произведением оптовой цены 1 т продукции на долю затрат на разведку в цене 1 т данного полезного ископаемого.

Недополученная прибыль может быть определена как разность между оптовой ценой и среднотраслевой себестоимостью добычи 1 т полезных ископаемых $C_{отр}$, однако эта величина является лишь условной прибылью народного хозяйства.

При постоянной добыче потерянная прибыль проявится лишь только в конце отработки балансовых запасов через время T . Поэтому в расчете недополученной прибыли следует учитывать коэффициент приведения

$$d_{np} = \frac{\Pi - C_{отр}}{K_{np}}; \quad K_{np} = (1 + E)^T. \quad (5.21)$$

Из сказанного следует, что ценность 1 т балансовых запасов при различных методах добычи руды будет различной; она зависит от горно-геологических условий месторождения, в том числе от глубины залегания рудного тела.

Результаты расчетов ценности 1 т балансовых запасов для открытого способа разработки и СГД показаны на рис. 5.6.

Из графика следует, что ценность балансовых запасов для рассматриваемых методов отличается как абсолютной величиной, так и характером зависимости.

Выполненный сравнительный экономический расчет показал, что для условий Кингисеппского месторождения метод СГД является более выгодным на глубине залегания рудного тела более 20 м (рис. 5.7).

Подводя итог сказанному, следует отметить, что метод СГД характеризуется снижением величины капитальных затрат и улучшением всех показателей производительности труда и себестоимости продукции относительно традиционных способов добычи, т.е. СГД позволяет вовлекать в рентабельную эксплуатацию глубоко-залегające месторождения полезных ископаемых.

ГЛАВА VI

6. ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ СГД

6.1. Задачи и особенности проектирования разработки месторождений методом СГД

Научные основы проектирования горно-добывающего предприятия, по определению акад. Н.В. Мельникова — это «совокупность (система) расчетных методов и конкретных рекомендаций, полученных на основе их применения. Указанную систему дополняют эмпирическими описаниями исходных зависимостей между стоимостями выполненных работ и их природно-техническими параметрами, а также отдельных зависимостей между характеристиками месторождений...».

Из сказанного следует, что главная задача проектирования предприятия, использующие метод СГД — это определение оптимального сочетания качественных и количественных показателей предприятия (мощность, срок службы, вскрытие, система разработки и т.д.). Правильный выбор этих параметров, прежде всего, связан с необходимостью учета всех горно-геологических и зависящих от них технологических и технико-экономических факторов.

Вследствие неизученности метода у ряда специалистов промышленности бытовало мнение о нецелесообразности использования СГД. Поэтому сейчас, когда уже накоплен практический опыт, необходимо обосновать рациональные параметры технологии, на основе чего возможно разрабатывать проекты эксплуатации конкретных месторождений методом СГД.

Задачей проектирования разработки месторождения является выбор рациональной системы разработки, при которой запасы будут извлечены с наименьшими потерями и затратами. Проектирование предприятия является комплексной задачей, при решении которой рудное тело, добычная скважина, поверхностные сооружения (насосная, компрессорная, трубопроводы, склады серы, контрольно-распределительные пункты и т.д.) должны рассматривать-

ся как единое целое. Для получения оптимального варианта следует рассмотреть ряд схем разработки и принципиальных схем обустройства предприятия.

При проектировании горно-добывающего предприятия рассматриваются горно-геологические и технологические факторы. Кроме этого, при составлении проекта необходима разработка критериев оценки принятых решений, причем от выбора критерия оценки зависит поиск оптимальных решений. Само проектирование — это тесно переплетающаяся многофакторная связь всех его разделов.

Проектирование методом вариантов наиболее применимо в практике сегодняшнего дня. Для поисков доверительных оптимальных решений необходимо использовать ЭВМ, что позволяет увеличить число переменных параметров и расширить диапазон их изменения при поисках оптимальных решений.

Решение задач проектирования на компьютерах требует создания экономико-математических моделей и логических взаимодействий элементов предприятия. Опыт проектирования на ЭВМ имеется и др., создан целый ряд гибких обобщенных алгоритмов и стандартных программ с широкой областью их применения. Видимо, для проектирования СГД потребуется разработка своих алгоритмов и программ, базой для которых должен служить имеющийся опыт проектирования.

Основные этапы проектирования. Для составления проекта предприятия по СГД необходимо:

- получить исходные данные: а) геологическое описание месторождения, руд, вмещающих пород; б) гидрогеологическую характеристику месторождения; в) технологическое опробование руд; г) подсчет запасов руд, пригодных для СГД; д) географические и климатические условия; е) наличие ресурсов воды, топлива, рабочей силы;
- сделать выбор варианта вскрытия и системы разработки месторождения с учетом: а) конструкции добычных скважин, диаметра эксплуатационных колонн, расположения пакеров и т.д.; б) сетки расположения добычных и водоотливных скважин; в) очередности разработки (бурение и включение в работу новых скважин и участков);
- осуществить выбор основного оборудования:
 - а) производства воды;
 - б) сжатого воздуха;

в) добычи и транспортирования руды ее складирование и отгрузка;

г) автоматизации и управления производством.

Получение с помощью расчетов основных технико-экономических показателей различных вариантов разработки с учетом:

а) масштаба производства;

б) времени разработки месторождения;

в) необходимого числа добычных скважин;

г) потребности воды и воздуха на 1 т руды;

д) экономических показателей вариантов.

Выполненный проект является программным документом для осуществления на практике инженерных решений.

Проектные решения должны обеспечивать непрерывную подачу воды и воздуха в действующие скважины в течение всего времени их работы и откачку руды по заданному для каждой скважины технологическому регламенту.

Особенность проходки и оборудования скважин на участке СГД обусловлена трудностями их бурения при условии наличия рядом расположенных работающих добычных скважин.

6.2. Исходные данные (регламент) для проектирования

Исходные данные на проектирование состояются с учетом всех научно-исследовательских, опытных, конструкторских и опытно-промышленных работ. В материалах исходных данных отражается опыт применения СГД для разработки месторождений, полученные при этом результаты относительно производительности, масштабов работ, работоспособности оборудования. Чаще всего опыт скважинной добычи полезных ископаемых невозможно перенести на другие месторождения без внесения корректировок в проектные решения. Однако вопросы проектирования трубопроводов, силовых установок, всего поверхностного обустройства стандартны и имеют много общего.

Полнота исходных данных способствует высококачественному проектированию и успешной эксплуатации, так как она позволяет учесть наиболее важные факторы, влияющие на показатели технологии.

При проектировании технологии СГД необходимо иметь сведения о физико-геологических условиях месторождения. В этих материалах отражается строение месторождения, его генезис, стратиграфия и литология. Особенно важным для проектирования технологии отработки через скважины с гидроразрывом продуктивной толщи является ее строение, площади распространения, мощность, элементы залегания, характер напластований, петрографическая и качественная характеристики пород, химический и минералогический состав пород, структурные и текстурные особенности, содержание полезного компонента и его распределение в залежи, характер взаимосвязи и пространственного положения зон с повышенным содержанием полезного компонента.

При проектных работах следует учитывать, а в исходных материалах необходимо отражать сведения о мощности покрывающих и подстилающих пород, характере строения, качестве контакта с разрабатываемыми породами. Данные о тектонических условиях месторождения позволяют правильно выбрать способ управления горным давлением, и в ряде случаев они определяют направление отработки месторождения. Здесь особенно важными являются сведения о направлении и характере тектонических нарушений, наличии тектонических структур, типах складчатости. Наличие и характеристика трещиноватости пород геологического разреза наличие зон закарстованности, кавернозности и пористости также в значительной степени определяют параметры движения горных пород.

Для проектирования системы водоснабжения, управления движением подземных вод, расчета установок водопонижения необходима гидрогеологическая характеристика месторождения с выделением и указанием параметров водоносных горизонтов, фильтрационных свойств водонасыщенных пород. Качество подземных вод, направление их движения, химический состав и физические свойства необходимы для решения вопросов Их охраны и рационального использования в технологическом процессе. Кроме того, необходимы сведения о распространенности и характеристиках водоупоров в разрезе пород кровли и почвы. Эти материалы предъявляются в виде карт мощностей водоносных пластов, стратизогипс кровли, водопроницаемостей пласта полезного ископаемого и водоносных горизонтов.

Физико-механические свойства пород отработываемого месторождения влияют на определяющие процессы технологии добычи — разрушение при выемке, устойчивость потолочин и целиков, и в исходных данных представляют: прочность пород кровли и продуктивной толщи на сжатие, изгиб, растяжение, модуль упругости, угла откоса в сухом и водонасыщенном состоянии, удельный и объемный веса, общую пористость, абсолютную, относительную и эффективную проницаемость, гранулометрический состав. Теплофизические свойства пород массива, включающие теплопроводность, теплоемкость, коэффициент температуропроводности с учетом влажности, используются в составлении теплового баланса установки СГД, что особенно важно при работах в условиях отрицательных температур.

При проектировании системы водоснабжения необходим учет фактических геотермограмм, значений геотермической ступени и геотермического градиента. При газопроявлениях на месторождении должны быть указаны газоопасные горизонты с основными характеристиками, включающими содержание, состав газов, их взрывоопасность. При разработке в районах многолетней мерзлоты свойства указываются для естественного состояния.

Для технологии СГД необходимы сведения о свойствах зернистых материалов — размерах и форме зерен, их окатанности, удельных весах, прочности и абразивных свойствах, а также о способности к налипанью, слеживанию, комкованию, склонности к изменениям свойств при хранении и транспортировании. Важным показателем является содержание глинистых минералов в залежи и получаемом продукте. Для эффективного проектирования и эксплуатации технологии скважинной добычи требуются материалы, характеризующие степень разрушенности ископаемого естественными процессами.

/ Для расчета производительности разрушения необходимо иметь результаты исследований и практические данные о взаимодействии струи гидромонитора с породой, радиусе эффективного действия, об изменении размеров выработки во времени, характере обрушения разрабатываемого пласта при подрезке первичной выработкой.

Процесс доставки в подземной камере определяется в зависимости от схемы выемки руды, угла наклона почвы пласта, размера камеры, свойств разрушенной руды, а при струйном смыве зависит

от параметров струи. В материалах к проектированию должны быть результаты опытных работ по испытанию схем транспортирования гидросмеси в подземной камере.

В исходных материалах указываются сведения о географическом расположении, обжитости района, климатических условиях, рельефе местности, источниках энерго- и водоснабжения, а также сведения о месторождениях других полезных ископаемых, промышленных предприятиях и их инертных минеральных отходах.

В исходных данных рекомендуются общая технологическая схема производства, составные процессы технологии, вспомогательные службы. Даются рабочие технологические параметры и допустимый диапазон колебаний по каждому процессу, рекомендации о порядке пуска производства, нормальной и аварийной остановках.

В материальном балансе производства приводятся виды потерь руды, степень извлечения сортов руды и их разубоживания. Указывается баланс воды, виды потерь и способы восполнения.

Технические характеристики побочных продуктов и реализуемых отходов производства позволяют при проектировании удовлетворить требованию комплексного использования минеральных ресурсов.

При скважинной гидродобыче побочными продуктами могут быть отходы попутного обогащения руды и подземные воды. Рекомендациями к проектированию определяются их качество, количество, способы очистки, области их применения и объемы потребления.

Математическое описание процессов и оборудования дается в виде, удобном для практических расчетов. Оно должно быть основано на экспериментальных данных. Здесь же должны быть даны рекомендации по выбору оптимальных моделей оборудования с представлением технических проектов на оригинальные оборудование и механизмы. Далее приводятся данные для расчета, конструирования и выбора основного технологического оборудования.

С учетом свойств рабочих агентов и полезного ископаемого даются рекомендации по выбору материалов для трубопроводов, запорной арматуры по всем транспортным системам.

Рекомендации и требования по выбору и конструированию основного технологического оборудования должны базироваться на результатах проверки конструкций оборудования при опытных работах и содержать рекомендации по защите от абразивного износа и коррозии основного оборудования, труб, арматуры. Даются технические проекты на нестандартное оборудование, режим работы и рекомендации по их обслуживанию.

В рекомендациях для проектирования автоматизации производства приводятся перечень параметров, подлежащих контролю, точки их отбора, схемы автоматического регулирования и рекомендации по применению автоматизированной системы управлений производством (АСУП) с использованием компьютеров.

Для составления схемы аналитического контроля производства даются перечень точек отбора проб руды и воды, периодичность анализа, методики анализа с указанием ГОСТов и инструкций, рекомендации по выбору конструкции пробоотборников и специального лабораторного оборудования, их размещения и способов передачи проб в Центральную аналитическую лабораторию (ЦАЛ), рекомендации по автоматизации отбора и передачи проб.

Определяются методы и технологические параметры очистки загрязненных сточных вод, обезвреживания газовых выбросов и ликвидации вредных отходов.

При СГД загрязнение воды происходит от вод хозяйственного пользования. Указываются количество и состав химически и механически загрязненных вод по отдельным узлам производства; даются рекомендации по их очистке, хранению и повторному использованию; приводятся мероприятия по предохранению загрязнения подземных вод.

В мероприятиях по технике безопасности, промсанитарии и противопожарной профилактике указываются перечень наиболее опасных мест в технологической схеме при отклонениях от нормального режима, возможные отклонения, а также вероятные последствия этих отклонений, даются мероприятия по профилактике и ликвидации возможных отклонений.

Указываются места возможных источников шума и вибрации, методы их устранения или снижения до допустимых пределов. Даются рекомендации по индивидуальным средствам защиты рабочих. По предложенной схеме производится ориентировочный расчет удельных капитальных вложений и себестоимости добычи и их сравнение с обычной технологией, добычи.

Определяются основные технико-экономические показатели добычи и возможность комплексного использования сырья и вскрышных пород данного месторождения. Здесь же приводятся документы, обосновывающие возможность сбыта других сортов руды. Кроме того, по исходным данным составляется патентный формуляр.

6.3. Подготовка и вскрытие месторождения

Объем и виды работ по подготовке месторождений для СГД зависят от конкретных условий местности. В условиях равнинной и сухой поверхности подготовительные работы включают прокладку подъездных путей, линии электроснабжения, трубопроводов для подачи воды, воздуха и гидросмеси. В условиях заболоченной поверхности или озер необходимо проведение дренажных канав.

Выработки, обеспечивающие доступ к месторождению для его подготовки и разработки, называются вскрывающими. При СГД вскрывающими выработками являются скважины, которые по своему назначению бывают добычные и вспомогательные (разведочные, водоотливные, контрольные).

Вскрытие месторождения состоит из ряда последовательно выполняемых операций: выбора места заложения скважин, уточнения конструкции скважины, бурения и обсадки скважин, геологических, гидрогеологических и геофизических исследований скважин, оборудование скважин к эксплуатации, оформление документации и сдачи ее в эксплуатацию (см. гл. 3.1 и 4).

При разработке месторождений полезных ископаемых, залегающих под монолитными покрывающими породами, обсадку скважин производят только по рыхлым четвертичным породам. Если покрывающие породы обладают невысокой прочностью, то скважину целесообразно обсаживать до рудного пласта, а в некоторых случаях частично перекрывать и его. При разработке мощных рудных пластов, залегающих под рыхлыми породами, возможно заземление скважинного оборудования в результате подвижки покрывающих пород. Для предотвращения этого в скважину до почвы пласта необходимо опускать вспомогательную трубу, в которой размещается добычное оборудование.

Добычные скважины предназначаются для добычи полезного ископаемого. Они оборудуются эксплуатационными колоннами труб для доставки к продуктивной залежи рабочего агента и извлечения из недр полезного ископаемого. Диаметр добычной скважины по продуктивному пласту определяется конструкцией ее оборудования, глубина — глубиной залегания полезного ископаемого. При СГД добычные скважины являются одновременно вскрывающими, подготовительными и нарезными выработками. Действительно, эти скважины вскрывают месторождения, подготавливают его к разработке и используются для добычи полезного ископаемого.

Скважины, используемые для добычи полезного ископаемого, являются в известной мере повторением одна другой. Поэтому при вскрытии месторождения, его подготовке и разработке можно рассматривать только одну скважину.

Общее представление о тех условиях, в которых приходится осуществлять вскрытие, и характеристику экономической эффективности системы вскрытия дает коэффициент вскрытия.

Геологический коэффициент вскрытия характеризует отношение мощности перекрывающих пород H к мощности пласта m , взятых в среднем для какого-то участка месторождения

$$K_r = \frac{H}{m}. \quad (6.1)$$

Для СГД коэффициент вскрытия, характеризуется длиной вскрывающей скважины, приходящейся на 1 т добываемых запасов

$$K_b = \frac{l}{\pi R^2 m \gamma \eta S}, \quad (6.2)$$

где R — радиус участка вокруг скважины разрабатываемой залежи; γ — объемный вес; S — среднее содержание полезного ископаемого; η — коэффициент извлечения. Иначе этот коэффициент можно представить как отношение длины скважины к произведению производительности пласта на площадь зоны действия скважин V , m^2

$$K_b = \frac{l}{\Pi V}. \quad (6.3)$$

Этот коэффициент может характеризовать систему разработки, так как в зависимости от сетки расположения скважины изменяется радиус зоны действия скважины, а, следовательно, и количество полезного ископаемого, извлекаемого с одной добычной скважины, а следовательно, и коэффициент извлечения.

Естественно, что при выборе вариантов вскрытия их необходимо сравнивать и по экономическому критерию. Экономический коэффициент вскрытия равен сумме всех затрат C по бурению, подготовке и оборудованию скважины, отнесенных к сумме стоимости запасов полезного ископаемого A , извлекаемых из скважины

$$K_s = \frac{C}{A}. \quad (6.4)$$

Вскрытие месторождения добычными скважинами — один из самых ответственных моментов в процессе подготовки его к разработке. Малейшие упущения в работе по бурению и подготовке скважин могут привести к потере скважины или вызвать необходимость в производстве трудоемких ремонтных работ.

Выбор места заложения скважин всегда связывается с системой разработки, принятой на данном участке или месторождении.

Строгая определенность в положении каждой скважины совершенно необходима, так как отклонение от проекта может нарушить и вызвать повышенные потери полезного ископаемого в недрах.

6.4. Выбор конструкции добычных скважин

Под оборудованием добычной скважины подразумевается спуск в нее эксплуатационных колонн, специально изготовленных для ведения технологического процесса добычи на месте залегания полезного ископаемого.

Как уже говорилось, добычные скважины оборудуются концентрически расположенными эксплуатационными колоннами: а) водоподающей; б) добычной, служащей для выдачи полезного ископаемого; в) воздушной (вспомогательной) трубой для подачи сжатого воздуха.

В зависимости от диаметра добычного оборудования скважины определяется конструкция буримой скважины, т.е. диаметр кондуктора, обсадной и, если необходимо, промежуточной колонны.

При выборе параметров добычного оборудования скважин должны рассматриваться: конструкция добычных колонн, конструкция ее забоя и оголовка.

Конструкция эксплуатационного оборудования добычной скважины должна обеспечить непрерывное поступление воды в рудное тело и откачку руды из него, причем не должно происходить никаких технических осложнений в работе скважины.

Рационально выбранный диаметр эксплуатационной колонны должен обеспечить минимальные потери давления при заданных расходах воды, воздуха и руды. С этой точки зрения минимальные потери соответствуют максимальным диаметрам, но это не соответствует улучшению технико-экономических показателей, поскольку увеличиваются расходы на бурение и оборудование скважин.

При проектировании СГД главное это расчет диаметра добычных колонн и выбор добычного устройства для эффективной работы. В случае работы с эрлифтом в добычной системе используется три трубы: эрлифтная (воздушная), водяная и пульпоподъемная. При работе гидроэлеватора две: водоподачная и пульпоподъемная.

6.5. Технология добычи

Под технологией добычи руды методом СГД понимается совокупность производственных операций по разрушению и смыву руды, увязанная во времени и пространстве. Последовательность их выполнения — технологическая схема метода. Выше рассмотрены основные операции технологии СГД и показано, что факторами, влияющими на выбор различных технологических схем, являются физико-геологические условия залегания месторождений (угол падения, мощность, размываемость, устойчивость кровли и т.д.), а также средства и способы ведения технологии добычи.

Проведенные исследования показали зависимость способа отделения полезного ископаемого (размыв, фильтрационное разрушение и т.д.) в основном от крепости руды, способа доставки, от угла падения и конфигурации залегания, способа управления горным давлением, физико-механических свойств рудного тела и вмещающих его пород. Форма очистного забоя, последовательность и направление очистной выемки кроме параметров, характеризующих элементы залегания месторождения, во многом определяются используемым оборудованием и приемами ведения технологического процесса.

Отработка добычной камеры может разделяться по направлению действия струи гидромонитора и схемы доставки разрушения руды к выдачному устройству (рис. 6.1) встречным забоем, когда направление разрушающей струи не совпадает с направлением смывающей насадки; попутным забоем, когда они полностью или частично совпадают; совмещенным забоем, когда струи боковых насадок гидромонитора попутным забоем разрушают пласт руды и смывают ее к всасу пульпоподъемного механизма, а струи передних насадок встречным забоем разрабатывают пласт; возможен комбинированный способ, когда сперва две рядом расположенные камеры обрабатываются встречным или совмещенным забоем, а затем попутным забоем производится отработка междуканальных целиков и зачистка почвы камеры.

Выбор схемы очистной выемки камеры, ее параметры, взаимная увязка процессов добычи определяются конкретными условиями разработки и должны обеспечивать заданную производительность добычи при минимальных удельных расходах воды и возможно более полном извлечении. Одним из определяющих факторов при этом является доставка разрушенной руды к всасу выдачного устройства, которая зависит от угла падения пласта. При угле падения более 5° — доставка разрушенной руды осуществляется самотеком. При углах менее 5° необходимо организовать принудительную доставку разрушенной руды либо созданием искусственного уклона в почве камеры (что сопровождается некоторым разубоживанием), либо гидромониторной струей.

По стадийности отработки рудного пласта различают добычу сплошным забоем (пласт отрабатывается на всю мощность в один прием, возможно с его подрезкой и обрушением) почвоуступным и потолкоуступным забоями (пласт отрабатывается слоями соответственно снизу вверх или сверху вниз).

Форма выработанного пространства обычно при одиночных добычных скважинах бывает круглая. При отработке рудного пласта взаимодействующими скважинами форма выработанного пространства определяется системой отработки и бывает представлена системой камер или единым блоком, ограниченным ленточными целиками.

6.6. Система разработки и сетка расположения скважин

Очистные работы при СГД ведутся через одиночные скважины или системой взаимодействующих скважин.

При выемке полезного ископаемого встречным забоем разрушение и доставка противоположны по направлению. Она обычно применяется при неустойчивой кровле пласта, в затопленной камере, на пластах средней и большой мощности и при большом содержании валунистого и крупнообломочного материала. Выемка попутным забоем используется при устойчивой кровле и небольшой мощности продуктивного пласта. Она позволяет снизить потери полезного ископаемого на дне камеры.

В ряде случаев, когда продуктивный пласт представлен несвязанными породами, нередко обладающими плавучими свойствами, гидромониторное разрушение пласта не производится, а выемка ограничивается переводом пород во взвешенное состояние у скважины и подъемом гидросмеси на поверхность.

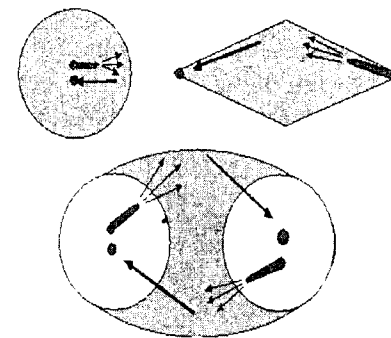


Рис. 6.1. Технологические схемы выемки при скважинной гидродобыче: встречным забоем, попутным забоем и комбинированная

При СГД обычно применяются три варианта систем разработки, отличающиеся по способу управления горным давлением: с посадкой кровли и оставлением неустойчивых целиков, с поддержанием кровли рудными устойчивыми целиками и с поддержанием кровли путем частичной или полной закладки выработанного пространства (рис. 6.2). Последний вариант системы разработки позволяет достичь наибольшего извлечения полезного ископаемого при СГД, однако является наиболее затратным.

Отсутствие людей в очистном пространстве при СГД позволяет увеличить величину допустимого пролета добычной камеры.

Способы разрушения массива руды в основном зависят от его прочности. Отрыв частиц рыхлых и слабосцементированных проницаемых руд можно осуществлять созданием фильтрационного потока с необходимой величиной гидравлического градиента в пласте. Наиболее целесообразно разрушать связные породы гидромониторной струей воды. Интенсификация процесса разрушения возможна воздействием вибрации, взрыва, химического или микробиологического разложения цементирующего вещества.

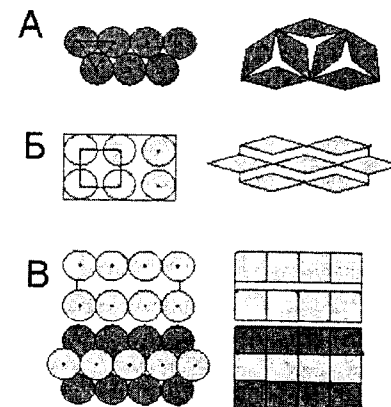


Рис. 6.2. Варианты систем разработки при СГД
А — оставление неустойчивых целиков (Сплошная); *Б* — поддержание кровли рудными целиками (Камерная); *В* — закладка выработанного пространства (Камерно-Столбовая)

Разрушенная руда доставляется к выдачному устройству или самотечными потоками (при достаточном уклоне подошвы камеры), или напорными потоками воды. Выдача гидросмеси на поверхность осуществляется с помощью гидроэлеватора, эрлифта, погружного землесоса или созданием противодавления нагнетаемой в залежь воды или воздуха.

Системы разработки СГД можно классифицировать не только по способу вскрытия (глава 3), но и по способу управления горным давлением. В этом случае можно выделить: 1) системы с открытым очистным пространством (например, камерная система, рис. 6.3, а, б, в); 2) системы с обрушением или плавной посадкой вмещающих пород через скважины (рис. 6.4, а, б, в) системы с закладкой (например, возможны варианты выемки одиночными камерами с закладкой и последующей выемкой целиков или слоевая выемка с закладкой (рис. 6.5, а, б).

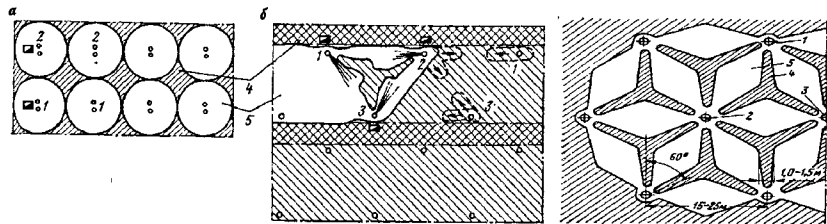


Рис. 6.3. Системы разработки: с открытым очистным пространством: а — камерная система с целиками; б — блоковая система с ленточными целиками; в — камерная система с звездообразными целиками; 1, 2, 3 — добычные скважины; 4 — целики; 5 — добычные камеры

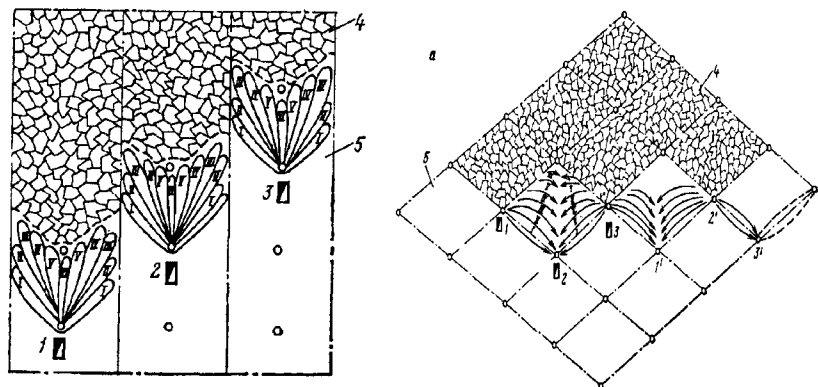


Рис. 6.4. Система разработки с обрушением вмещающих пород: а — взаимодействующими агрегатами; б — отдельными камерами; 1, 2, 3 — добычные скважины; 4 — обрушенные камеры; 5 — отработываемые камеры; I—VI — заходки

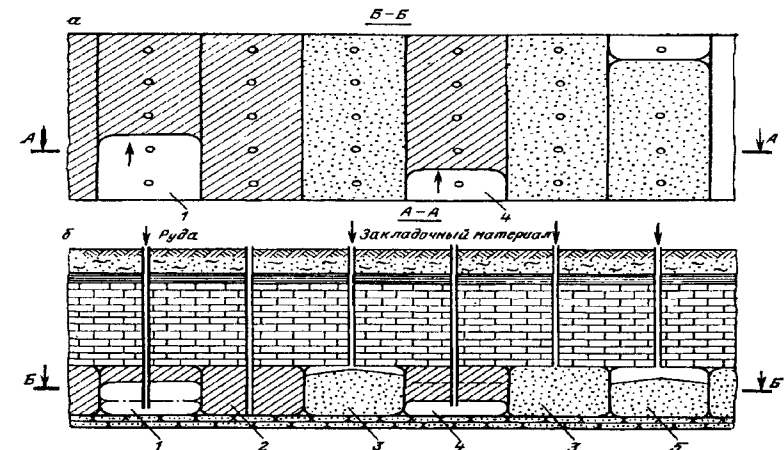


Рис. 6.5. Система слоевой разработки с закладкой выработанных блоков: 1 — разрабатываемый блок; 2 — целики; 3 — закладываемые блоки; 4 — разработка целиков; 5 — закладка отработанных целиков

Система разработки с открытым очистным пространством применяется при устойчивых покрывающих породах. Выемка руды при мощности пласта 2—3 м осуществляется в камерах или блоках сплошным забоем, при большей мощности — слоями. Слои оформляются с уклоном, достаточным для самотечной доставки разрушенной породы.

Размеры камеры или блока определяются допустимой площадью обнажения покрывающих пород и устойчивостью целиков.

Камерная система применялась при разработке фосфоритов Кингисеппского месторождения. Добыча велась встречным забоем на всю мощность пласта секторными заходками. Объем добычи из камеры доходил до 1000 т, общее извлечение составляло 50—60 %.

Другим примером камерной системы разработки является система МГРИ для разработки песчано-глинистых руд осадочного месторождения. После сбойки скважин (сетка 20x20) выемка руды велась в ромбовидной камере попутным забоем. В центре между тремя скважинами оставляется целик в виде трехлепестковой звезды. Объем добычи из камеры достигал 200—300 т, извлечение до 70 %.

Разработка блоками ведется на месторождениях с малой и средней мощностью с оставлением ленточных целиков. Блок может разрабатываться встречным или попутным забоем. При неустойчивых покрывающих породах могут оставляться временные одиночные целики посередине блока.

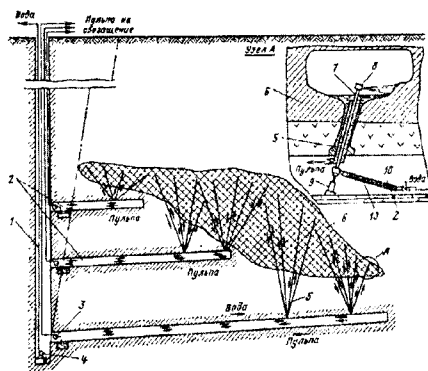


Рис. 6.6. Комбинированный способ разработки месторождения: шахта-наклонные восходящие скважины с полевой горизонтальной выработкой до рудного пласта:

1 — ствол шахты; 2 — полевые горизонтальные выработки; 3 — землесосные установки; 4 — водоотливные насосы; 5 — добычные скважины; 6 — рудное тело; 7 — гидромонитор; 8 — вращающаяся головка с насадками; 9 — устройство для монтажа секции водовода и подачи гидромонитора на забой; 10 — шланг

Достоинства системы: добычные агрегаты располагаются над целиками, добыча осуществляется попутным забоем.

Система разработки с обрушением применяется для выемки пластов, залегающих под слабопрочными пластичными породами. Сетка расположения скважин, число взаимодействующих агрегатов, скорость подвигания забоя определяются состоянием налегающих пород. При необходимости система позволяет управлять сдвижением пород: ускорять обрушение путем взрывного воздействия; регулировать скорость сдвижения оставлением временных или податливых целиков.

Вариантом системы является отработка через наклонные скважины, расположенные за зоной сдвижения покрывающих пород. При этом увеличивается объем добычи из одной скважины и обеспечивается полная безопасность ведения горных работ.

Системы разработки с закладкой выработанного пространства применяются для добычи особо ценных руд, или когда не допускается оседание поверхности. При разработке пластов малой и средней мощности добыча ведется на всю мощность с закладкой отработанных выработок и с последующей выемкой целиков. При разработке мощных пластов ведется слоевая выемка сверху вниз или, наоборот, снизу вверх с закладкой отработанного слоя. В последующем этапе обрабатываются целики.

Для отработки локальных рудных тел могут применяться комбинированные системы СГД с открытыми или подземными горными работами. Примером может быть отработка через скважины, пробуренные снизу вверх из подземных полевых выработок до рудного тела (рис. 6.6). Гидросмесь через скважины выпускается в выработки и транспортируется на поверхность. Скважины гидроразмыва в ряде случаев могут быть пробурены с поверхности.

Комбинированные системы применяются при использовании разрезных траншей и отдельных шурфов совместно с вертикальными или наклонными скважинами. Оптимальной системой расположения скважин на месторождении будет являться сетка скважин, обеспечивающая минимальные затраты на 1 т добытой руды при возможно более полном извлечении запасов разрабатываемого месторождения.

Основной проблемой разработки месторождения является решение вопроса о выборе оптимального варианта системы разработки, под которой понимается порядок расстановки, проходки и включения в работу для ведения подготовительных и очистных работ добычных скважин, увязанный во времени и пространстве.

Технология метода СГД предопределяет рассмотрение комплекса: добычный агрегат — месторождение — скважины — склад как единой системы. Поэтому для определения сетки скважин необходимо рассмотреть распределение запасов вокруг каждой добычной скважины и время их извлечения.

Для этого необходимо иметь приведенный ниже перечень геологических материалов.

Карта производительности рудных залежей (t/m^3). Карты составляются отдельно на каждую залежь, причем под залежь следует понимать непрерывное по площади рудное тело, не разделяющееся в разрезе выдержанными по площади слоями. Если залежь представлена в разрезе несколькими разделенными горизонтами, то карты составляются для каждого из них.

Карты мощностей рудосодержащих горизонтов. Под мощностью рудосодержащего горизонта понимается расстояние по вертикали от кровли залежи до почвы, т.е. если в кровле, в почве или среди залежи имеются безрудные прослойки, то они включаются в мощность.

Карты стратоизогипс по кровле рудосодержащих водоносных горизонтов. На этих картах изолиниями показывается рельеф водупорной кровли и участки гидравлических окон, связывающих данный горизонт с вышележащим.

Карта прочностных характеристик пласта показывается характеристики плотности участков руды.

Топографические планы местности с нанесением контуров существующих и проектируемых горных выработок.

Перечисленный комплекс геологических данных является наряду с геологическими разрезами необходимым и достаточным для проектирования системы, последовательности и режима отработки месторождения.

Выбор оптимальной системы разработки месторождения способом СГД — сложная задача, решаемая на основе геологических и технико-экономических расчетов.

Остановимся лишь на основных моментах, учет которых необходим при выборе системы отработки.

Одним из наиболее сложных вопросов является порядок отработки. Возможны три варианта отработки: вверх, вниз, по падению пласта и по простиранию. В первом случае при начале отработки с наиболее глубоких частей создается опасность потери руды в выработанные пространства. При отработке сверху вниз создаются условия для разубоживания руды в отработанных участках месторождения.

При многослойном строении залежи отработку слоев целесообразно вести одновременно. Это выгодно как с точки зрения подготовки поверхностных коммуникаций, так и с чисто технологической точки зрения. Возможна и поэтажная отработка месторождения с верхнего и нижнего слоя, но необходима закладка выработанного пространства.

Расстояние между добычными скважинами выбирается с учетом продуктивности пласта, коэффициента извлечения, глубины его залегания. В наклонных залежах расстояние между скважинами увеличивается в зависимости от угла падения в 1,5—2 раза по направлению вытянутости рудного тела и сокращается во столько же раз в поперечном направлении.

Поскольку, рядом расположенные добычные скважины по пласту взаимодействуют между собой, блок работающих скважин можно рассматривать в виде укрупненной скважины — добычного забоя, по которому можно планировать суточную добычу как в целом по блоку, так и по каждой скважине.

Выбор сетки расположения, очередности ввода в эксплуатацию скважин должен вестись в зависимости от характеристик месторождения. Так, для некоторых рудных тел целесообразна разработка кустами по 3—6 скважин. Эксплуатация крупных пластовых месторождений эффективна рядами скважин по простиранию рудного тела.

Результаты теоретических, лабораторных и промышленных исследований определяют, в основном, правила расположения скважин по месторождению, на основе которых в проектных решениях можно сделать выбор поля размещения скважин.

Экономические исследования размещения скважин показали, что сетка их расположения должна обеспечивать минимальные издержки на 1 т добычи при заданном уровне извлечения. В свою очередь, размер добычи определяется планом, основанным на наличии ресурсов полезного ископаемого.

Число одновременно работающих скважин определяется двумя факторами: производительностью скважины и мощностями по производству рабочих агентов.

Порядок подготовки и ввода в эксплуатацию добычных скважин соответствует принятому направлению работ. Необходимо, чтобы бурение и оборудование скважин опережало ввод их в эксплуатацию по фронту на два—три ряда.

Следует отметить, что общее число добычных скважин N может быть определено как

$$N = \frac{F_m}{b_1 b_2}, \quad (6.5)$$

где F_m — площадь месторождения; b_1, b_2 — параметры сетки расположения добычных скважин.

Тогда срок отработки месторождения T является функцией числа одновременно работающих скважин n , параметров сетки их расположения и срока службы одной скважины t

$$T = \frac{F_m \cdot t}{b_1 b_2 n}. \quad (6.6)$$

В зависимости от масштабов производства определяется число скважин, необходимое для обеспечения заданной производительности предприятия. Проектный уровень добычи A (т/сут) ищется как произведение среднесуточной производительности скважины A_1 (т/сут) на число скважин n , находящихся в работе

$$A = n A_1. \quad (6.7)$$

Однако, как показывает опыт работы, часовая и даже суточная производительность добычных скважин подвержена значительным колебаниям и часто сильно отличается от среднего значения полу-

ченного в результате расчетов, поэтому для стабилизации уровня производительности предприятия необходимо иметь как дополнительное число рабочих скважин, так и резерв скважин, постоянно готовых к работе.

Число скважин, необходимых для обеспечения заданного уровня добычи, можно определить по формуле

$$n_1 = K \frac{A}{A_2} (T_n + T_p), \quad (6.8)$$

где n_1 — число скважин, устойчиво обеспечивающих заданный уровень добычи; A_2 — средняя добыча полезного ископаемого из одной скважины за время ее существования, т; T_n — время на бурение и оборудование одной скважины; T_p — время на отработку одной скважины; K — коэффициент запаса.

Для иллюстрации приведем расчет необходимого числа скважин для рудника с различными заданными уровнями добычи: 100, 200 и 500 т/сут ($A_2 = 2000$ т, $T_n = 20$ сут при $A_1 = 20$ т/сут, $T_p = 100$ сут).

Расчитав число скважин по формуле, получим, что для обеспечения добычи 100, 200 и 500 т/сут необходимо, чтобы в работе одновременно находилось соответственно 5, 10 и 25 скважин. Расчеты, показывают, что для обеспечения заданного уровня добычи необходимо, чтобы в работе было соответственно 6, 12 и 30 скважин. При этом принято $K = 1$, однако в зависимости от конкретных геологических условий для обеспечения устойчивости условий добычи необходимо вводить коэффициент запаса, который определяется опытным путем или по данным эксплуатации, и зависит от числа «мертвых» и a .

6.7. Расчет параметров гидродобычных камер и межкамерных целиков

Рассмотрим расчет предельного пролета камеры СГД для Кингисеппского месторождения фосфоритов (кровля — плитчатый известняк).

Исходные данные: $h = 1$ м; $\gamma = 2,3$ т/м³; $\sigma_{изг} = 1600$ т/м²; $k_n = = 0,5$; $A = \sqrt{2}$; $k_\alpha = 1$; $k_t = 1$. В расчетах $\sigma_{изг}$ принимается равным половине от предела прочности на изгиб, определенного в лабораторных испытаниях.

По формуле Г.Н. Кузнецова (3.63) находим

$$L = 1,1 \sqrt{\frac{2 \cdot 800 \cdot 1}{(1 + 0,5) \cdot 2,3}} = 21,5 \text{ м.}$$

Расчет параметров целиков ведется по формуле (3.68) и графикам (рис. 3.7).

Исходные данные: $H = 20$ м, $\gamma = 2,12$ т/м³, $\sigma_{сж} = 30$ т/м², $\rho = 30^\circ$, $L = 20$ м, $h = 3$ м, $k_\phi = 1$.

$$F\left(\frac{a}{h}, \rho\right) = \frac{2,12 \cdot 20 \cdot 20}{30 \cdot 3} = 9,42.$$

По графику (рис. 3.7) для $\rho = 30^\circ$, находим $a/h = 2,12$, откуда $a = 6,36$ м. Округляя с запасом, получим $a = 6,5$ м.

Учет временного фактора при расчете размеров целика производится аналогично учету этого фактора при расчете предельного пролета кровли камеры (см. параграф 3.4).

Отработка добычного поля методом СГД одиночными камерами предполагает круглую в плане форму камер; целики при этом получаются фигурные. Поэтому в известные расчетные формулы необходимо внести поправку, учитывающую замену фигурных целиков на эквивалентные по площади ленточные. Эта замена может учитываться введением в расчетную формулу коэффициентом формы k_ϕ , который исследовался в лабораторных условиях.

На графике (рис. 6.7) представлены результаты расчета параметров камерной системы разработки для конкретных условий Кингисеппского месторождения по предложенной методике. Для пользования графиками задается радиус отработки камер и проводится горизонтальная линия до пересече-

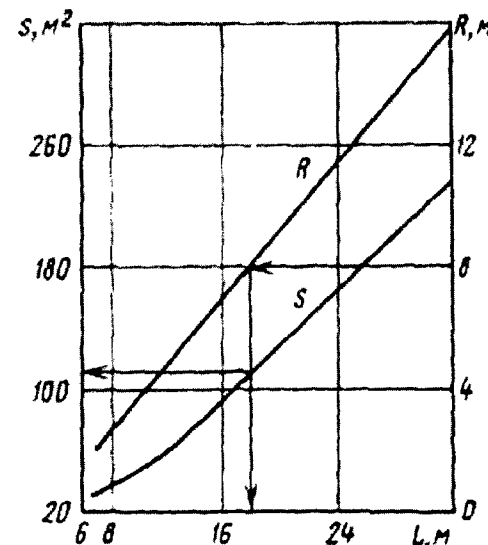


Рис. 6.7. Зависимость радиуса камеры R и площади целиков S от сетки скважин L

ния с графиком R . Из точки пересечения опускается перпендикуляр на ось L , который определяет сетку бурения добычных скважин. Проекция точки пересечения перпендикуляра с графиком s на ось s показывает площадь целика между камерами.

Управление горным давлением плавной посадкой кровли может осуществляться путем оставления податливых целиков, за счет регулирования давления рабочего агента (воды) в выработанных полосах при ведении добычи в затопленной среде. Скорость посадки можно регулировать числом оставленных целиков, подработкой целиков в определенной последовательности и т.д.

Следующий способ управления горным давлением — закладка выработанного пространства. Гидравлический способ добычи и транспортирования руды предопределяет применение гидравлической закладки. В качестве закладочного материала можно применять хвосты обогатительной фабрики, т.к. гидрозакладка хвостов позволяет производить подземное захоронение отходов обогащения, что экономически эффективнее, чем содержание и эксплуатация хвостохранилища. Закладка выработанного пространства позволяет разрабатывать месторождение сплошной выемкой полезного ископаемого с извлечением до 60—85 % и обеспечивает безопасность ведения работ на земной поверхности.

При СГД эксплуатационные потери руды связаны с оставлением целиков, неоднородностью геологического строения пласта, а также с упущениями при ведении очистных работ в камере, при гидротранспортировании и хранении руды.

Сбросы, смятия, наличие участков крепких монолитных руд, сложная гипсометрия по кровле и почве рудного тела — факторы, обуславливающие неполноту выемки. Потери руды в целиках могут быть сведены к минимуму при работе с цементирующей закладкой. Эксплуатационные потери руды при ведении горных работ в основном происходят из-за неполноты разрушения руды и неполной доставки разрушенной руды к выдачному механизму. Коэффициент извлечения определяется произведением технологического коэффициента извлечения и коэффициента охвата. Первый представляет собой отношение фактическому объему добытой руды к проектному объему камеры. Второй есть отношение объемов геологических запасов к проектным объемам камер.

При СГД, наряду с потерями, может происходить разубоживание в результате примешивания вмещающих пород и смешивания богатых руд с более бедными, измельчения полезного ископаемого и его потерь при гидротранспорте.

Выбор наиболее экономичного варианта сетки расположения добычных скважин заключается в нахождении оптимального размещения скважин на данном участке месторождения.

Эта задача может быть решена исследованием влияния системы разработки на целевые показатели. Исследование процесса включает этапы: построение модели процесса, ее анализ и выработку решения.

Большое значение имеет правильный выбор критерия оптимизации исследуемого процесса, который должен отвечать целям разработки. Целью всякого производственного процесса является получение максимального эффекта при минимальных затратах, однако в каждом конкретном случае возникает необходимость удовлетворения дополнительных требований. Так, при разработке месторождений полезных ископаемых возникает необходимость обеспечения заданного уровня добычи, поддержания определенного качества полезного ископаемого, достижения заданного уровня извлечения и др.

Одним из основных вопросов метода СГД является увеличение извлечения из недр.

Система разработки при СГД является фактором, влияющим на коэффициент извлечения. Поэтому представляется целесообразным в качестве целевых показателей разработки наряду с экономическими показателями принять коэффициент извлечения.

Цель разработки в этом случае может быть сформулирована следующим образом: достижение заданного объема добычи при оптимальных затратах и извлечении.

В качестве критерия оптимизации параметров сетки расположения добычных скважин примем прибыль предприятия, получаемую при отработке участка пласта.

В результате задача размещения добычных скважин на структуре рудного тела сводится к определению параметров сетки скважин, обеспечивающих максимальную эффективность обработки месторождения с учетом природных условий, технологических и экономических факторов. К природным условиям относятся глубина залегания рудного тела, его мощность, содержание полезного ископаемого, текстурная характеристика руд, и их распределение в пространстве, физико-механические свойства покрывающих пород и рудного тела.

Технологические факторы — скорость расширения зоны выемки и время работы добычной скважины, конструкция добычной скважины, система отработки месторождения (порядок и режим отработки), коэффициент извлечения полезного ископаемого из недр.

Экономические факторы — затраты на бурение и оборудование добычных скважин, затраты на производство воды и воздуха, ремонт скважин и прочие расходы, которые ложатся на себестоимость продукции.

Принимая в качестве показателя эффективности суммарную прибыль Π за период отработки T , последняя определяется разностью отпускной цены Σ и себестоимости C добытой руды

$$\Pi = \sum_{i=1}^T (\Sigma_i - C_i) \cdot \quad (6.9)$$

Объем извлекаемых запасов участка $B_{\text{н}}$ является функцией балансовых запасов B и коэффициента извлечения η

$$B_{\text{н}} = B\eta. \quad (6.10)$$

Величина затрат на добычу C зависит от природных условий, применяемых технологических параметров и экономических факторов и складывается из затрат на бурение и оборудование добычных скважин, производство рабочих агентов воду и воздух, а также эксплуатационных и вне-производственных затрат.

В результате величина прибыли

$$\Pi = \Sigma_0 B\eta - C, \quad (6.11)$$

где Σ_0 — оптовая цена руды.

При оптимизации параметров технологического процесса на переменные налагаются следующие ограничения: время воздействия на пласт рабочих агентов ограничивается периодом эксплуатационной надежности работы добычной скважины; часовой расход воды и воздуха в одну скважину снизу ограничивается ее — техническими и технологическими возможностями; коэффициент извлечения — значением, соответствующим предельной прочности отработанного пласта; параметры сетки добычных скважин изменяются от b_{min} обеспечивающих лишь окупаемость затрат на добычу (при блочной схеме отработки) и сохранение возможности включения соседней скважины в работу (при порядной схеме), до b_{max} , соответствующего максимальному развитию

зоны вокруг добычной скважины; предельное значение удельных затрат рабочих агентов на добычу соответствует величине предельной себестоимости.

В ходе процесса добычи постепенно снижается продуктивность скважины, и суммарный удельный расход рабочих агентов возрастает. Очевидно, что эксплуатация скважин целесообразна лишь до какой-то предельной величины удельных затрат. Поэтому эксплуатацию скважин целесообразно прекратить при некотором конечном, экономически целесообразном дебите руды. Это неизбежно приведет к снижению извлечения, т.е. к вынужденным потерям. Однако величина потерь при одном и том же удельном расходе рабочих агентов может быть различной в зависимости от сетки скважин.

Приравнивая затраты на добычу 1 т руды к ее оптовой цене при реализации, определим, при каком удельном расходе рабочих агентов эксплуатация скважины становится нерентабельной:

В качестве примера на рисунке дан порядок выбора граничных значений сетки расположения добычных скважин при СГД.

Определяется коэффициент технологического извлечения для руд месторождения или участка.

Производится подсчет предельно допустимых затрат воды.

Задав уровень конечного извлечения η , обеспечивающий эффективность разработки, можно определить значение коэффициента охвата η_r , соответствующее конкретным условиям. По графику (рис. 6.8) определяется, какая сетка скважин обеспечит необходимый коэффициент охвата при максимально допустимом удельном расходе воды. Найденный параметр сетки будет предельно допустимым с точки зрения рационального использования запасов.

Уменьшая расстояние между скважинами относительно найденного, можно с большой надежностью гарантировать заданный уровень извлечения. Однако увеличивать плотность бурения скважин можно лишь до какого-то предела, определяемого экономическим расчетом. Реализация извлекаемых запасов, приходящихся на одну скважину, должна покрывать затраты на бурение и оборудование, выплавку и откачку серы на поверхность, а также общие эксплуатационные расходы на добычную скважину за период работы.

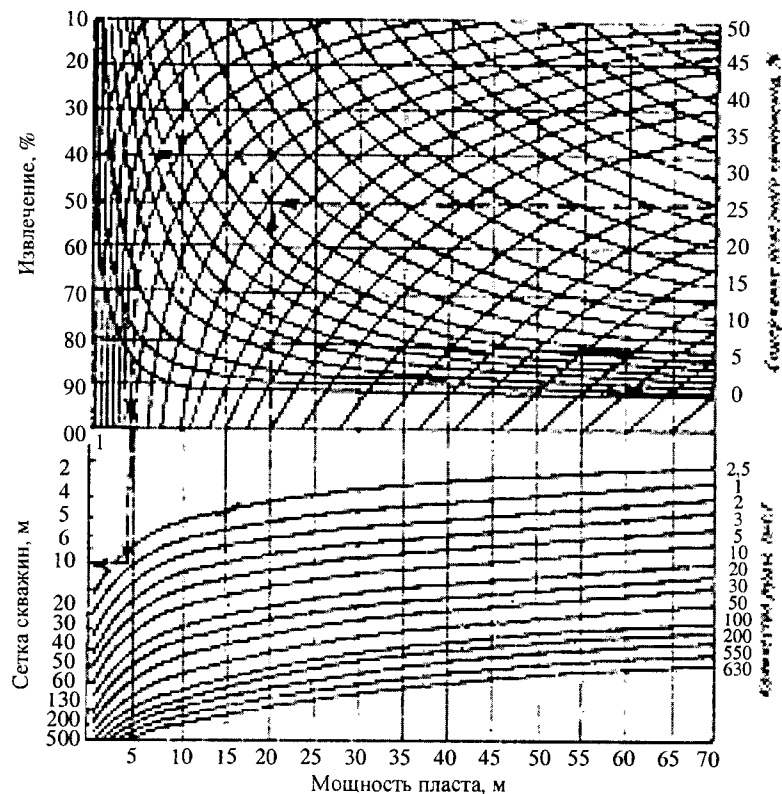


Рис. 6.8. Номограмма для определения сетки добычных скважин по заданным горно-геологическим условиям

С другой стороны, количество руды P_s зависит от мощности H и содержания S полезного ископаемого, расстояния b между скважинами, объемного веса γ и технологии извлечения руды η_T , коэффициента охвата зоной η_P

$$P_s = b^2 H \gamma S_1 \eta_T \eta_P. \quad (6.12)$$

При заданных горно-геологических условиях необходимый объем обеспечивается соответствующей сеткой скважин

$$b = \sqrt{\frac{P_s}{H S_1 \eta_T \eta_P}}. \quad (6.13)$$

Расстояние между скважинами, определенное по данной формуле, будет минимально допустимым.

Учитывая обычно недостаточную степень изученности условий залежи на стадии проектирования, а также невысокую надежность ожидаемых расчетных показателей технологии, их уточняют при пробной эксплуатации. Целесообразно сетку скважин выбирать между верхним и нижним пределами — в этом случае исключается работа установки в граничных областях.

6.8. Извлечение руды при СГД

Степень извлечения полезного компонента зависит от метода разработки месторождения. Как правило, применение методов, характеризующихся меньшим извлечением, позволяет значительно снизить затраты на добычу и повысить производительность труда, т.е. получить существенный экономический эффект.

Проблему добычи полезного ископаемого следует рассматривать в техническом и экономическом аспектах. Технически можно извлекать до 100 % балансовых запасов, однако, практически, с экономической точки зрения такая разработка месторождения невыгодна. Уменьшение извлечения обычно допускается только при высокопроизводительных методах добычи.

Следовательно, при выборе способа разработки необходимо соизмерять размеры экономического выигрыша и экономического ущерба, связанных со структурой и величиной потерь полезного ископаемого.

Объем потерь в недрах должен определяться, по-видимому, на основе расчетов как величина оправданная.

Эффективность разработки любого месторождения характеризуется коэффициентом извлечения полезного ископаемого η , который представляет собой отношение извлекаемой его части ξ к начальным запасам Δ

$$\eta = \frac{\xi}{\Delta}. \quad (6.14)$$

В силу специфики СГД при его оценке следует пользоваться частными значениями коэффициента извлечения: текущим $\eta_{\text{тек}}$, конечным $\eta_{\text{кон}}$ и максимальным $\eta_{\text{макс}}$ извлечением, определяющими соответственно долю запасов, добытых к текущему моменту, к моменту завершения эксплуатации (остановки работы скважины) и, наконец, предельно возможную величину извлечения.

Извлечение во многом зависит от текстуры и структуры руд, технологии выемки и системы расположения скважин и т.д.

Для подсчета общих потерь руды их можно характеризовать коэффициентом извлечения из двух величин: технологического коэффициента извлечения η_T , определяющего потери в зоне добычной скважины, и коэффициента извлечения η_P , определяющего потери, связанные с системой разработки месторождения.

Величина технологического коэффициента извлечения равна отношению количества извлеченной руды G_E к ее общим запасам G_Δ в зоне скважины. Коэффициент извлечения η_P зависит от расположения скважин, размеров «мертвых» зон между ними.

Таким образом, коэффициент извлечения η может быть представлен формулами:

$$\eta = \eta_T \cdot \eta_P; \text{ где } \eta_T = \frac{G_E}{G_\Delta}; \eta_P = \frac{V_P}{V_\Pi} \quad (6.15)$$

где V_P и V_Π — соответственно объем залежи в зоне выемки руды и общий объем залежи, запроектированной к отработке. Очевидно, что максимальное извлечение достигается при наибольших значениях коэффициентов η_T и η_P .

Увеличить значение технологического коэффициента извлечения можно, уменьшая потери путем искусственного воздействия на рудный массив. Исследования технологического коэффициента извлечения показали, что извлечение руды из различных руд колеблется от 60 до 85 % в зависимости от текстурных и структурных особенностей руд.

Коэффициент охвата пласта зоной выемки является функцией многих переменных и, прежде всего системы разработки залежи, т.е. расстояний между добычными скважинами, мощности пласта, конструкции добычного оборудования (рис. 6.9).

На основе лабораторных и теоретических исследований, а также промышленного эксперимента установлено, что после извлечения определенного процента запасов руды эксплуатационные затраты возрастают, а добыча падает, вследствие чего дальнейшая эксплуатация скважины становится экономически невыгодной (рис. 6.10).

Сравнение по ценности месторождения показывает, что при разработке методом СГД, несмотря на повышенные потери, можно получить в два раза больший экономический эффект, чем при разработке этого же месторождения обычными методами с меньшими потерями.

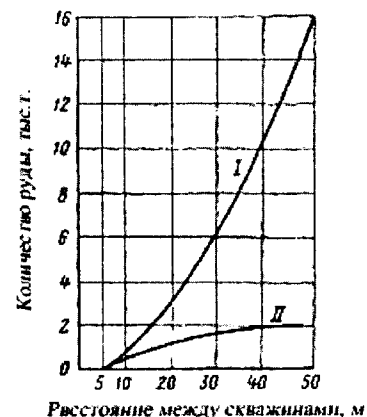


Рис. 6.9. Запасы и извлечение руды в зависимости от сетки расположения скважин: I — запасы руды на одну добычную скважину в зависимости от их сетки; II — количество извлекаемой руды

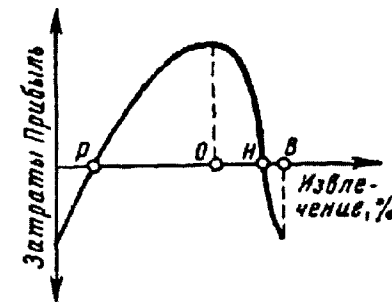


Рис. 6.10. Эффективность работы скважин в зависимости от извлечения руды из скважины: P — равенство затрат и прибыли от добытой руды; O — оптимальная прибыль от работы скважины; H — нулевая экономическая эффективность разработки; B — возможное экономически невыгодное извлечение руды

6.9. Выбор основного оборудования для предприятий СГД

Успех работы установки СГД во многом зависит от правильного подбора оборудования, способного обеспечить ведение процесса добычи в оптимальном режиме, обеспечивающим безаварийную и экономически выгодную работу предприятия.

Производство напорной воды.

Вопрос выбора насосных агрегатов должен быть решен экономическими расчетами, где учитываются удельные капитальные вложения, общая сметная стоимость, эксплуатационные затраты и необходимое давление воды не гидромониторное.

Компрессорное хозяйство рудника основано на эксплуатации обычных нагнетательных компрессоров.

Расчеты показали, что при глубине залегания до 300 м для откачки пульпы вполне может быть применен любой компрессор низкого давления (18—25 кгс/см²) с производительностью не менее 10 м³/мин. Использовать компрессор среднего давления (35—50 кгс/см²) при таких глубинах нецелесообразно, т.к. с повышением давления резко возрастает потребляемая мощность.

Опыт применения на участке СГД маломощных компрессоров низкого давления (до 10 кгс/см²), показал, что на участках месторождений с глубиной залегания до 100 м целесообразно применять

передвижные компрессоры с давлением до 10 кгс/см². При глубинах залегания рудного пласта до 300 м следует применять двухступенчатые компрессоры с давлением до 25 кгс/см². На более глубоких участках — компрессоры с давлением 35—50 кгс/см².

Трубы. При СГД вся разводка воды от насосной до добычных скважин и далее до забоя, и пульпы от забоя до склада осуществляется по металлическим трубам различных диаметров. Проведенные исследования показали, что для оборудования эрлифта должны использовать дюймовые трубы из нержавеющей стали. То же можно сказать и о пульповодных трубах в добычных скважинах, однако вполне возможно при интенсивной отработке скважин использовать и толстостенные (9—11 мм) трубы из обычных сталей.

6.10. Освоение проектной мощности рудника СГД

Из предыдущего следует, что операции по производству воды из сжатого воздуха представляют собой центральные звенья в технологической цепи рудника СГД. Горные работы заключаются в бурении и эксплуатации добычных скважин и управлении процессом откачки пульпы.

Мощность предприятия СГД определяется главным образом его производительностью по воде и сжатому воздуху.

На руднике СГД необходимо иметь комплексную бригаду по монтажу добычных скважин и их ремонту, обеспеченную специальным оборудованием и ловильным инструментом. В обязанности данного подразделения может входить также осуществление различных способов воздействия на пласт с целью снижения прогноза руды для последующего гидроразрушения (кислотные обработки, торпедирование, гидроразрывы, пулевая перфорация и т.д.). На добычных горных предприятиях подобной службы нет.

Таким образом, технология предприятия СГД коренным образом отличается от технологии обычного горного производства.

Наиболее ярко специфика нового метода добычи руды проявляется в органическом единстве всего производственного процесса. Метод не допускает обособленного производства работ по подготовке скважин и их эксплуатации. Непрерывность технологического процесса требует тесного взаимодействия всех подразделений предприятия и концентрации полной информации об его ходе в одном центре.

При СГД особые требования предъявляются к непрерывности производственного процесса по всему технологическому циклу, так как даже кратковременное нагнетание сжатого воздуха может привести к выходу из строя всего добычного участка. Бурение и оборудование новых добычных скважин также должны быть подчинены единому графику со строгим соблюдением сроков и качества работ, т.к. движение фронта отработки непрерывно и должно поддерживаться в определенном темпе.

В связи с этим организация работ по СГД требует централизации. Управление производством в период освоения мощности должно быть максимально упрощено и приближено к основным объектам предприятия.

На начальной стадии эксплуатации добычных скважин происходит освоение процессов откачки пульпы, ее транспортирования, и складирования. В этот период уточняются параметры системы разработки и ее показатели, проверяется целесообразность запроектированного опережения буровых и подготовительных работ на скважинах и их масштабы.

На втором этапе осуществляется непосредственное освоение проектной мощности рудника СГД: прогрессивное наращивание производства воды, сжатого воздуха выполнение полного объема буровых работ и технологическое обустройство горного поля, причем все эти работы согласуются во времени. Все мероприятия по освоению проектной мощности рудника СГД целесообразно представить в виде комплексного плана организационно-технических мероприятий. Эти мероприятия должны учитывать условно-постоянные и переменные факторы: объем производственных фондов, состав и количество оборудования, его технический уровень и технические показатели, определяющие эффективность использования средств труда. К последним, прежде всего, относятся технические нормы использования, режим работы отдельных звеньев и всего рудника, уровень организации труда, степень автоматизации управления технологическими процессами, квалификация обслуживающего персонала, моральные и материальные стимулы и т.д.

В программе освоения проектной мощности рудника должен быть учтен общий перспективный план развития предприятия и четко определены первоочередные задачи, причем предпочтение в сроках следует отдавать наиболее важным техническим мероприятиям (бурению и оборудованию скважин, расширению производст-

ва воды и воздуха). Работы специализированных внутренних служб и сторонних организаций должны быть определены и согласованы по срокам на весь период освоения.

План организационно-технических мероприятий должен оцениваться единым показателем — производительностью в тоннах руды. Это позволит планировать выпуск продукции по месяцам на весь период освоения проектной мощности. Только четкое определение и количественная оценка всех узких мест производства, расчет дефицита мощностей по всем: участкам и рабочим местам поможет успешно реализовать программу развития рудника СГД.

В первый период освоения технологии СГД осуществляется анализ работы КИП, проводятся мероприятия по рациональному использованию действующего оборудования, правильному использованию результатов измерений и химических анализов, освоению технологии работы скважин, а также по подготовке обслуживающего персонала, технике безопасности и созданию необходимых санитарно-гигиенических условий труда.

Этап наращивания мощностей характеризуется мероприятиями по совершенствованию технологии СГД, улучшению технологии приготовления воды и сжатого воздуха, повышению величины коэффициента извлечения руды из залежи, модернизации оборудования и механизации процессов, совершенствованию методов организации производства и управления, внедрению в производство результатов научно-исследовательских работ и т.д.

Источниками формирования плана мероприятий являются задания службам предприятий на новые разработки по наиболее перспективным направлениям совершенствования техники, технологии и организации производства; заказы на проведение работ научно-исследовательскими институтами, лабораториями и проектными организациями; рационализаторские предложения и изобретения в области техники и технологии СГД; материалы по обобщению передового опыта (отечественного и зарубежного) предприятий СГД; рекомендации и выводы, опубликованные в научно-технической литературе.

Комплексный план должен объединить и координировать планы капитального строительства, новой техники, научной организации труда, планы научно-исследовательских и конструкторских работ институтов и лабораторий. Это значительно повысит эффективность программы и ее целенаправленность. Программа освое-

ния проектной мощности рудника СГД складывается из различных мероприятий по повышению производственной и экономической эффективности. Поэтому увязка сроков проведения этих мероприятий является важным моментом в разрабатываемом плане.

Комиссию по разработке оргтехплана возглавляет на руднике главный инженер, в цехах — начальники цехов.

Управление процессом наращивания мощности рудника СГД. Развивающееся предприятие можно рассматривать как сложную динамическую систему, состоящую из взаимосвязанных подсистем. Управление системой сводится к обеспечению контролируемого и регулируемого взаимодействия ее элементов. Эффективному управлению процессом освоения проектной мощности рудника СГД способствует применение моделей, анализ которых позволяет выбирать оптимальный вариант управления в соответствии с принятым критерием.

Наиболее простыми и наглядными являются графические модели, которые дают достаточную информацию о системе. Большие удобства сетевых графиков для осуществления управления обусловили их широкое применение, как в отечественной, так и в зарубежной промышленной практике. Логические элементы «Работа» и «Событие» обеспечивают конкретность процесса планирования. Совершившееся событие соответствует выполненной работе, поэтому исключается неопределенность в оценке состояния процесса управления. Сетевые графики обеспечивают полный охват всех элементов программы, позволяют выявить обособленные работы, не влияющие на процесс, благодаря чему выбираются целесообразные сроки их выполнения. Вместе с тем выявляются резервы времени на менее напряженных путях, что позволяет оперативно использовать трудовые и материальные ресурсы.

Положительный опыт применения сетевого планирования при строительстве с учетом технологических особенностей процесса позволяет создать обоснованную методику управления процессом освоения проектной мощности рудника СГД.

7. МЕТОДИКИ ИНЖЕНЕРНОГО РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЫЕМКИ ПРИ СГД

7.1. Общая методика выбора параметров технологии СГД

Выбор параметров технологии СГД для конкретного месторождения основывается на анализе геологических, гидрогеологических, природных, экологических и экономико-географических условий.

Общая методика выбора параметров технологии СГД заключается в последовательном определении основных характеристик производства, необходимых для разработки технологического регламента и определения эффективности его эксплуатации.

В процессе выбора параметров СГД определяется:

1. Годовая производительность рудника (т/г) как функция запасов и потребностей народного хозяйства, а также на основе анализа перечисленных выше условий, и режим работы предприятия (сезонный, круглогодичный, непрерывный, прерывный, количество смен). Определяется месячная, суточная и часовая производительность.

2. Разрабатывается принципиальная технологическая схема производства от разработки исходного сырья до получения готовой продукции исходя из существующего технического уровня развития данного направления отрасли промышленности.

3. На основе анализа геологических и гидрогеологических условий и современного уровня скважинной гидротехнологии выбирается технологическая схема и система разработки СГД.

4. Определяются параметры системы разработки при СГД: величина предельно устойчивого пролета гидродобычной камеры и ширина межкамерного целика (см. раздел 3.4).

5. Определяются параметры гидравлического разрушения пород: производительность и максимальный радиус размыва (см. раздел 3.2).

6. Определяются параметры гидравлической доставки разрушенных пород в гидродобычной камере от забоя до пульпоподъем-

ного механизма: дальность доставки, производительность и удельный расход воды на доставку (см. раздел 3.2).

7. Производится расчет параметров подъема гидросмеси разрушенных пород на поверхность: производительность по гидросмеси и полезному ископаемому, расход и давление воды и воздуха (см. раздел 3.3).

8. Определяются обобщающие параметры отработки гидродобычной камеры: радиус и объем камеры, производительность и объем добычи из камеры, общий расход и давление воды и воздуха. При определении радиуса камеры учитывается длина гидромониторного ствола и дальность размыва, при которой обеспечивается заданная минимальная величина по производительности гидромониторного разрушения. При определении средней производительности добычи учитывается ее изменение в процессе отработки камеры и затраты времени на доставку пород. Объем добычи из камеры определяется с учетом технологических потерь, обычно составляющих 15—20 % от объема камеры. Общий расход воды состоит из расхода воды на гидравлическое разрушение, доставку и подъем полезного ископаемого на поверхность.

В отдельных случаях определяющими являются параметры одного процесса, например подъема, и, при определении обобщающих параметров отработки гидродобычной камеры, корректируют параметры других процессов.

9. Выбор конструкции скважинного гидродобычного оборудования производится на основании выполненного расчета параметров подъема и горно-геологических условий (глубины разработки, крупности разрушенных пород и т.п.).

10. Выбирается способ вскрытия и конструкция добычной скважины.

11. Производится расчет гидротранспорта (методика расчета подробно изложена в литературе по гидромеханизации горных работ и здесь не приводится).

12. Производится расчет гидроотвалообразования (см. гидромеханизацию).

13. Выполняется расчет параметров гидрозакладки отработанных камер (подземная разработка месторождений полезных ископаемых).

14. Выполняется расчет параметров обогащения.

15. Производится выбор параметров и количества технологического и энергетического оборудования.

16. Выполняется расчет капитальных затрат, амортизации, эксплуатационных затрат, цены и экономической эффективности работы рудника.

Ниже приводятся примеры расчета отдельных процессов выемки и выбора технологических параметров для конкретных условий разработки.

7.2. Расчет параметров гидромониторного разрушения

Определение параметров разрушения незатопленной струей

Пример 1. Расчет радиуса разрушения для скважинного гидромонитора со встроенной конструкцией ствола при размыве пород в незатопленной камере.

Исходные данные: Диаметр насадки 20 мм, давление на насадке 5 МПа, предел прочности разрушаемых пород на сдвиг 0,25 МПа.

Начальная скорость струи (3.1)

$$u_0 = \alpha \cdot \sqrt{200 \cdot g \cdot P_0} = 0,9 \sqrt{200 \cdot 9,81 \cdot 5} = 89,1 \text{ м/с},$$

где $\alpha = 0,9$ – коэффициент расхода воды через насадку.

$$\text{Число Рейнольдса } Re = \frac{u_0 D}{\nu} = \frac{89,1 \cdot 0,02}{10^{-6}} = 1,78 \cdot 10^6.$$

Длина начального участка струи (3.5)

$$L_H = (A - B \cdot Re) \cdot d = (424 - 16 \cdot 10^6 \cdot 1,78 \cdot 10^6) \cdot 0,02 = 0,278 \text{ м}.$$

Для скважинного монитора встроенной конструкции с диаметром насадки $d = 15$ — 20 мм; $K = 0,85$, $A = 42,4$; $B = 16 \cdot 10^{-6}$, а выводной конструкции $K = 0,8$, $A = 45,6$ и $B = 17 \cdot 10^{-6}$.

Радиус разрушения определяется из формулы (3.4)

$$L = L_0 \cdot \left(\frac{P_0}{P_m} \right)^{1/K} = 0,278 \cdot \left(\frac{5}{0,25} \right)^{1/0,85} = 9,4 \text{ м}.$$

Пример 2. Расчет радиуса размыва при тех же параметрах скважинного гидромонитора и прочности разрушаемых пород на сдвиг $\tau = 0,025$ МПа в затопленной камере при $P_{гидр} = 40$ м.в.с.

Расчет производим по формулам 3.13 и 3.14

$$\frac{0,23 \cdot P_0}{[0,145 + a \cdot L/d]^2} = \frac{0,23 \cdot 5}{[0,145 + a \cdot L/0,02]^2} = 0,025,$$

$$a = \frac{1}{m - n \cdot P_{гидр}} = \frac{1}{1/0,0625 - 1,87 \cdot 4} = 0,117.$$

Отсюда находим, что $L = 1,13$ м. При длине гидромониторного ствола 3 м радиус камеры составит 4,13 м.

Пример 3. Рассчитать производительность и удельный расход напорной воды при гидромониторном разрушении угля Кузбасса свободной струей при следующих условиях $f = 1,0$; $P_0 = 100$ кг/см², $d_n = 35$ мм. Для угля Полысаевского пласта $A = 1,7$.

По формуле 3.7 и 3.8 определяем производительность и удельный расход воды

$$П = A \cdot P^{2,5} \cdot d^2 \cdot 10^{-4} = 1,7 \cdot 100^{2,5} \cdot 3,5^2 \cdot 10^{-4} = 59,5 \text{ т/ч},$$

$$q = \frac{Q}{П} = \frac{1,22 \cdot 10^4 \cdot d^2 \cdot P^{0,5}}{П} = \frac{1,22 \cdot 10^4 \cdot 3,5^2 \cdot 10^{-4} \cdot 10000^{0,5}}{208} = 7,18 \text{ м}^3/\text{т}.$$

Пример 4. Определить удельный расход воды при разрушении плотных суглинистых пород ($M = 12$, $n = 0,8$) свободной гидромониторной струей ($P_0 = 40$ кг/см², $L = 16$ м, $P_m = 1,36$ кг/см²),

По формуле 3.9

$$q = \frac{M}{P_m^n} = \frac{12}{1,36^{0,8}} = 9,4 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Пример 5. Определить производительность разрушения слабоцементированных песков Кингисеппского месторождения ($\sigma_{сж} = 5$ кг/см) при давлении воды $P = 36$ кг/см² и диаметре насадки $d_n = 23$ мм; $\kappa = 4,8$.

По формуле 3.10 и из табл. 3.5

$$П = \kappa \cdot P_0 = 4,8 \cdot 36 = 172,8 \text{ т/ч}.$$

7.3. Расчет параметров доставки пород в камере

Пример 1. Расчет доставки при смыве пород незатопленной гидромониторной струей.

Исходные данные: Неразрывающая скорость транспортируемого материала 12 м/с, давление воды на насадке 5 МПа, диаметр насадки 2 см.

По формуле 3.4

$$L = L_0 \cdot \left(\frac{P_0}{P_m} \right)^{1/k} = L_0 \cdot \left(\frac{u_0}{u_{\text{неразм}}} \right)^{2/k} = 0,278 \cdot \left(\frac{89,1}{12} \right)^{2/0,85} = 31,1 \text{ м.}$$

Чтобы определить производительность доставки на расстоянии 15 м, определяют значение осевой скорости струи на этом расстоянии из предыдущей формулы

$$L = L_0 \cdot \left(\frac{u_0}{u_{oc}} \right)^{2/k} = 0,278 \cdot \left(\frac{89,1}{u_{oc}} \right)^{2/0,85} = 15, \text{ откуда } u_{oc} = 28,2 \text{ м/с.}$$

$$\text{Расход воды через насадку равен } Q = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot u_0 \cdot 3600 = 100 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Удельный расход воды на доставку (3.20)

$$q = \frac{k_c}{u_c} = \frac{32,34}{28,2} = 1,1 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

откуда производительность доставки на расстоянии 15 м от гидромонитора составит $\Pi = Q/q = 100/1,1 = 91 \text{ м}^3/\text{час.}$

7.4. Расчет параметров подъема гидросмеси

Пример 1. Расчет эрлифта по формуле Гейера для условий добычи фосфоритовых песков на Кингисеппском месторождении.

Исходные данные. Расход гидросмеси 250 м³/ч, плотность гидросмеси 1,2 т/м³, высота подъема 10 м, глубина затопления форсунки эрлифта 15 м, средняя крупность поднимаемых песков 2 см, максимальная крупность поднимаемых пород 15 см.

Определяем максимальный диаметр всасывающего наконечника для подъема пород крупностью до 15 см.

По формулам 3.27—3.30:

$$Ar = \frac{g(\rho_{\tau} - \rho) d_{\text{ш}}^3}{\rho v^2} = \frac{9,8(2,65 - 1) 0,15^3}{1 \cdot 10^{-12}} = 5,46 \cdot 10^{10},$$

$$E_D = \frac{w_{\text{ост}}}{w_0} = \left[1 - \frac{d_T^2}{D^2} \right]^{1,5} = \left[1 - \frac{15^2}{25^2} \right]^{1,5} = 0,512,$$

$$E_{\beta} = \frac{w_{\text{ост}}}{w_0} = [1 - \beta]^n = [1 - 0,25]^3 = 0,422,$$

$$w_0 = \frac{10^{-6} \cdot 5,46 \cdot 10^{10}}{0,15(18 + 0,61\sqrt{5,46 \cdot 10^{10}})} \cdot 0,422 \cdot 0,512 = 0,55 \text{ м/с.}$$

$$\text{Отсюда из формулы 3.26 } D_{\text{макс}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 250}{3,14 \cdot 0,55 \cdot 3600}} = 0,4, \text{ т.е.}$$

диаметр всасывающего наконечника по условиям подъема породы крупностью 15 см не должен превышать 0,4 м.

Диаметр всасывающего наконечника принимаем равным 250 мм (273x9 мм).

Расход сжатого воздуха на эрлифтирование м³/мин (3.31)

$$Q_{\text{возд}} = \frac{Q_z \cdot H \cdot \gamma_s}{1380 \cdot \gamma_z \cdot \eta \cdot \lg(0,1 \cdot h + 1)} = \frac{250 \cdot 10 \cdot 1,2}{1380 \cdot 1 \cdot 0,4 \cdot \lg(0,1 \cdot 15 + 1)} = 13,7.$$

Диаметры пульпоподъемной трубы (3.32) принимаем 273x9 мм.

$$D_{\text{эр}} = \left(\frac{250}{0,24 \cdot 0,325} \right)^{0,4} = 25,3 \text{ см.}$$

Пример 2. Расчет эрлифта по балансу энергии.

Эрлифтный снаряд поднимает гидросмесь плотностью 1,4 т/м³ с глубины 11,25 м, глубина погружения 9 м. Диаметр пульпоподъемной трубы $D_u = 150$ мм, ожидаемая плотность поднимаемой пульпы 1,35 т/м³. Необходимо определить производительность эрлифта по гидросмеси и по твердому веществу, а так же необходимый расход воздуха. В расчете длина всасывающего наконечника принята равной нулю.

По формуле 3.42 определяем значение производительности эрлифта по гидросмеси при расходе воздуха 100—1000 м³/ч через каждые 100 м³/ч.

Расход воздуха, м ³ /ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Производительность по гидросмеси, м ³ /ч.....	58,6	96,6	117,7	128,6	133,5	134,7	133,7	131,3	128	124,2

Максимальная производительность эрлифта достигается при расходе воздуха 600 м³/ч и составляет 134,7 м³/ч.

Производительность эрлифта по твердому Q_{τ} , определяем по формуле (3.43)

$$Q_m = \frac{Q_{\tau}(\rho_n - \rho_B) \cdot \rho_m}{(\rho_m - \rho_B)} = \frac{134,7(1,400 - 1,000) \cdot 2,650}{(2,650 - 1,000)} = 86,5 \text{ т/ч.}$$

Пример 3. Расчет гидроэлеваторного подъема по методике П.Н. Каменева.

Задаем высоту подъема гидроэлеватора $H_r = 100$ м, весовой расход эжектируемой гидросмеси $Q_r \cdot \gamma_r = 200$ т/час и диаметр камеры смешения исходя из наибольшей крупности поднимаемых пород $d_k = 100$ мм.

Определяем скорость в камере смешения, которую необходимо иметь для подъема на высоту 100 м (3.49)

$$u_k = \sqrt{\frac{2gH_r}{(1 + \zeta_k)}} = 38,1 \text{ м/с,}$$

где $\zeta_k = 0,35$ — коэффициент сопротивления в камере смешения и диффузоре.

Определяем общий расход гидросмеси через камеру смешения (3.50)

$$Q_{\Sigma} = \frac{\pi d}{4} u_k = 1077 \text{ т/ч.}$$

Определяем расход воды через насадку гидроэлеватора и коэффициент эжекции (3.51 и 3.45)

$$Q_0 = Q_{\Sigma} - Q_r = 877 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$\text{и } \alpha = \frac{Q_r \gamma_r}{Q_0 \gamma_0} = 0,228.$$

Определяем осредненную скорость в начале смешиваемого потока (3.52)

$$u_k^* = (1 + \zeta_k) u_k = 51,5 \text{ м/с.}$$

Определяем скорость и давление воды на выходе из насадки гидроэлеватора (3.53 и 3.54)

$$u_0 = (1 + \alpha) \cdot u_k^* = 63,2 \text{ м/с } H_0 = (1 + \zeta_0) \frac{u_0^2}{2g} = 220 \text{ м.в.с. } (\zeta_0 = 0,08).$$

Определяем диаметр насадки гидроэлеватора d_0 и параметры m и β (3.47, 3.48)

$$d_0 = \sqrt{\frac{4Q_0}{\pi \cdot u_0}} = 70, \quad m = \frac{d_k^2}{d_0^2} = 2,04, \quad \beta = \frac{H_r}{H_0} = 0,454.$$

Статический к.п.д. гидроэлеватора составит (3.49)

$$\eta_{ст} = \frac{\alpha \cdot \beta}{1 - \beta} = 0,19.$$

7.5. Расчет параметров системы разработки

Пример 1. Расчет параметров при камерной системе разработки на Кингисеппском месторождении фосфоритов.

Исходные данные: $H = 20$ м, $\gamma = 2,12 \text{ т/м}^3$, $\sigma_{сж} = 30 \text{ т/м}^2$, $\rho = 30^\circ$, $L = 20$ м, $h = 3$ м, $k_{\phi} = 1$.

По формуле 3.68

$$F\left(\frac{a}{h}, \rho\right) = \frac{2,12 \cdot 20}{30 \cdot 3} = 9,42.$$

По графику (рис. 3.8) для $\rho = 30^\circ$ находим $a/h = 2,12$, откуда $a = 6,36$ м.

Учет временного фактора при расчете размеров целика производится аналогично учету этого фактора при расчете предельного пролета кровли камеры.

7.6. Методики расчета параметров выемки при разработке мерзлых погребенных россыпей способом СГД

При разработке мерзлых погребенных россыпей способом СГД на пластах малой и средней мощности основные эксплуатационные затраты связаны с подъемом песков на поверхность (70—80 % от затрат на выемку), поэтому в основе расчета лежит определение расходно-напорных параметров подъема с последующей их корректировкой для получения максимально возможного объема добычи из подземной камеры.

Мерзлые пласты малой и средней мощности для получения максимально возможного объема добычи отрабатываются в незатопленных условиях, поэтому здесь применяется гидроэлеваторный способ подъема.

Предлагается следующий порядок расчета параметров выемки и технологического оборудования.

1. По известным характеристикам песков и глубине залегания россыпи определяется давление воды на гидроэлеваторе для подъема песков P , размер камеры смешения гидроэлеватора и расход воды на подъем Q_n и размыв Q_p песков.

2. Определяется максимальная дальность и производительность размыва при расчетных значениях давления P и расхода воды на размыв Q_p и известных характеристиках мерзлого продуктивного пласта.

3. При проникновении золота в подстилающие коренные породы определяется максимальная дальность и производительность размыва при расчетных значениях давления P и расхода воды на размыв Q_p и известных характеристиках песчано-глинистых сланцев.

4. Определяется максимальная дальность доставки и производительность при расчетной дальности по разрушению песков и пород плотика.

5. Определяется средняя производительность добычи с учетом производительности на разрушение и доставку.

6. Рассчитывается величина предельного пролета кровли камеры и размеры межкамерных целиков. При пролете, превышающем двойную дальность разрушения мерзлых песков, расчет повторяется для увеличенного напора воды на гидромониторный размыв.

7. Определяется размер подземной камеры и ее объем для принятой технологической схемы выемки.

8. Определяется время отработки камеры: чистое время на добычу и общее время с учетом монтажных операций.

9. Выбирается конструкция скважинного оборудования и выбирается эксплуатационное оборудование (буровые станки, насосы и т.п.).

10. Выбирается тип и параметры обогатительного оборудования с учетом производительности добычи и характеристик добываемых песков.

В качестве примера расчета приведем параметры выемки песков на полигоне «Ручей Куранах» прииска «Экспериментальный» (Магаданская область).

Россыпь в нижнем участке ручья Куранах прииска «Экспериментальный» залегает на глубине 20—25 м и имеет мощность 2 м. Пласт песков представлен аллювиальными глинисто-щебневыми отложениями с подчиненным количеством гравийно-галечного материала. Характеристика песков по фракциям следующая: глина — 30 %, песок — 15 %, дресва — 15 %, гравий — 10 %, щебень — 20 %, галька — 10 %, валуны и глыбы единичны. Фракция +100 мм составляет 10 %. Температура пород продуктивного пласта -6°C , льдистость 200 кг/м^3 . Покрывающие породы представлены суглинком и гравийно-галечными отложениями со щебнем и суглинистым заполнителем.

1. Для подъема гидросмеси выбираем гидроэлеватор с кольцевой насадкой, позволяющей принять оптимальное значение параметра m , равное 2,5. Тогда коэффициент напора β составит из уравнения $\beta = 1/m = 0,4$.

При высоте подъема 25 м необходимый напор на насадке гидроэлеватора будет 62,5 м.

Коэффициент расхода определяется из формулы $\beta = 0,504 - 0,684\alpha$ и составит 0,375.

Для подъема крупнообломочных песков диаметр камеры смешения выбираем равным 200 мм. Тогда внешний диаметр кольцевой насадки будет 127 мм, а диаметр внутренней трубки 50 мм. Расход воды через гидроэлеваторную насадку составит

$$Q_r = 0,8 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot 62,5} \cdot \frac{\pi}{4} (0,127^2 - 0,05^2) \cdot 3600 = 1200 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Тогда расход эжектируемой пульпы составит $1200 \cdot 0,375 \sim 450 \text{ м}^3/\text{ч}$, отсюда расход воды на одном гидромониторе можно принять $180 \text{ м}^3/\text{ч}$, а на двух — $360 \text{ м}^3/\text{ч}$.

2. Дальность и производительность размыва определяются по формулам (3.15, 3.16)

$$L_{\text{макс}} = 8,55 \frac{P^{0,25} \cdot d^{0,5} \cdot T^{0,5}}{G^{0,35} \cdot |t|^{0,5}} = 8,55 \cdot \frac{0,625^{0,25} \cdot 30^{0,5} \cdot 18^{0,5}}{200^{0,35} \cdot 6^{0,5}} = 10 \text{ м},$$

$$P = 25,45 \cdot \frac{d \cdot P^{0,65} \cdot T}{G \cdot |t|} = 25,45 \cdot \frac{30 \cdot 0,625^{0,65} \cdot 18}{200 \cdot 6} = 8,4 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

3. Проникновения золота в коренные породы на месторождении «Ручей Куранах» не происходило, поэтому параметры разрушения песчано-глинистых сланцев не определяются.

4. Дальность доставки определяются по формулам (3.19)

$$L_{\max} = d \cdot P^{0,5} = 30 \cdot 0,625^{0,5} = 23,7 \text{ м,}$$

$$L_H = (A - B \cdot Re)d = (42,4 - 16 \cdot 10^{-6} \cdot 1,78 \cdot 10^6) \cdot 0,03 = 0,417 \text{ м,}$$

$$u_0 = \alpha \cdot \sqrt{200 \cdot g \cdot P_0} = 0,9 \cdot \sqrt{200 \cdot 9,81 \cdot 0,625} = 31,5 \text{ м,}$$

$$L = L_0 \cdot \left(\frac{u_0}{u_{oc}} \right)^{2/k} = 0,417 \cdot \left(\frac{31,5}{u_{oc}} \right)^{2/0,85} = 10 \text{ м, откуда } u_{oc} = 8,16 \text{ м/с,}$$

$$q = \frac{k_c}{u_c} = \frac{32,34}{8,16} = 4 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

5. Предельный пролет камеры определяем по формуле Слесарева (3.62)

$$L = A \cdot \sqrt{\frac{\sigma_p h}{\gamma}} = 15,8 \text{ м,}$$

где $A = 2$ для мерзлых пластичных пород, $\sigma_p = 25 \text{ кг/см}^2$ — предел прочности на растяжение для мерзлых пород, $h = 4 \text{ м}$ — мощность несущего слоя, $\gamma = 2 \text{ кг/см}^3$ — объемный вес покрывающих пород.

6. Для обеспечения максимального извлечения песков из скважины увеличиваем дальность размыва до величины пролета камеры 15 м.

При неизменном расходе воды через гидромонитор эта дальность обеспечивается при давлении воды 2 МПа и диаметре насадки 30 мм.

Производительность по разрушению для этих параметров гидромонитора составит $18 \text{ м}^3/\text{час}$, а производительность доставки на среднем расстоянии 15 м составит $30 \text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда средняя производительность при отработке камеры составит

$$\Pi = \frac{\Pi_p \cdot \Pi_d}{\Pi_p + \Pi_d} = 11,25 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

7. При отработке квадратной в плане камеры со стороной 15 м, ее объем составит 450 м^3 . При производительности $22 \text{ м}^3/\text{ч}$ камера двумя работающими гидромониторами обрабатывается за сутки.

8. Водоснабжение гидродобычного комплекса осуществляется от двух насосов: для гидроэлеватора 14НДС (с расходом воды до $1200 \text{ м}^3/\text{ч}$ и давлением до 0,8 МПа) и для гидромониторов два ЦНС 180/240 (расход до $180 \text{ м}^3/\text{ч}$, давление 2,4 МПа).

При разработке *погребенных мощных многолетнемерзлых россыпей* подъем песков на поверхность производится эрлифтом, поэтому в основу расчета приняты параметры эрлифта и тепловой расчет размыва мерзлых песков в затопленной камере.

Пример расчета. Определим параметры размыва мерзлых пород с льдистостью 500 кг/м^3 и температурой $t = -2^\circ\text{C}$ затопленной гидромониторной струей при давлении воды 2,5 МПа и диаметре насадки 33 мм ($Q = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$) при температуре $T = 12^\circ\text{C}$.

По формулам 3.15 и 3.16

$$L = 26 \cdot \frac{d \cdot P^{0,5} \cdot T^{0,5}}{G \cdot [t]^{0,5}} = 6,6,$$

$$\Pi = 0,4 \cdot \frac{d^2 \cdot P \cdot T}{G \cdot [t]} = 13.$$

7.7. Пример расчета параметров технологии и технических средств скважинной гидродобычи титано-цирконовых песков

Вскрытие пласта песков

С учетом имеющегося опыта и серийно выпускаемого отечественной промышленностью бурового оборудования, принимаем вскрытие вертикальными скважинами, буримыми с поверхности.

Местоположение скважин опытного участка в пределах горного отвода определяется из условия максимального их приближения к действующим коммуникациям электро- и водоснабжения.

В ходе бурения должно осуществляться опробование всех видов пород, слагающих обрабатываемый пласт с выявлением фракционного состава и всех элементов залегания. Согласно конструкторским проработкам и рабочей документации наружный диаметр гидродобычного снаряда РСГ-2М определен в размере 168 мм. Исходя из условия обеспечения необходимого зазора рекомендуемый диаметр скважины в этом случае принимаем равным 250 мм.

При имеющихся место условиях производства работ для проходки скважин гидродобычи могут быть применены различные буровые установки: УРБ-3А-3, УРБ-3АМ, 16А-15В, 1БА-15Н, УБВ-600 и др.

Принимаем для осуществления буровых работ установку УРБ-ЗА-3. Данная буровая установка апробирована в аналогичных условиях и подтвердила соответствие своих рабочих характеристик необходимым параметрам производства работ.

Бурение эксплуатационной скважины диаметром 250 мм осуществляется до почвы пласта песков. Параметры режима бурения выбираются в соответствии с местными условиями, используя накопленный опыт буровых работ.

Если скважина пересекает неустойчивые породы, которые обваливаются или выпучиваются даже при применении специальных промывочных растворов, в нее опускают колонну обсадных труб для закрепления стенок скважины и перекрытия неустойчивой породы, после чего продолжают бурение скважины инструментом меньшего диаметра.

Колонковое бурение (в интервале обрабатываемого пласта с прихваткой пород кровли и подошвы, ведется извлечением керна.

Но если скважины пересекают уже изученные породы, то на участках, где полезное ископаемое отсутствует, целесообразно перейти на бескерновое бурение, которое позволяет существенно повысить производительность за счет сокращения времени на спуско-подъемные операции, а также за счет повышения механической скорости бурения.

Целью бурения геологоразведочных скважин являются геологические исследования. Поэтому кроме извлечения образцов пород-кернов в скважине проводят специальные работы: измерение ее искривления, геофизические исследования (каротаж), опробование стенок скважины, ориентирование керна, тампонирование для изоляции отдельных горизонтов, гидрогеологические и другие работы.

После выполнения геологической задачи, скважина переоборудуется в гидродобычную путем разбуривания до расчетного диаметра, после чего производят отработку, извлекают добычный снаряд и производят ликвидационное тампонирование с целью охраны недр. Оборудование и вышку передвигают на новую точку в собранном виде.

Для обеспечения безопасных условий добычных работ и предотвращения аварий буровой установки при возможном выходе сдвижений налегающего массива пород в районе отработанной скважины на поверхность в ...

В НПЦ «Геотехнология» разработана передвижная наземная управляющая установка НУУ-1 (СГД-4).

Наземная управляющая установка НУУ-1 состоит из бурового агрегата УРБ-ЗА-3, установленного на базу, выполненную в виде саней.

Расчет параметров скважинного гидромонитора выполнен для следующих исходных данных:

- внутренний диаметр пульповода $d_2 = 100$ мм;
- рабочее давление $P_0 = 40$ МПа;
- высота подъема пульпы H_2 до 40 м;
- общий расход воды $Q = 150$ м³/час;
- вес единицы объема жидкости (воды) $\gamma_0 = 1$ н/м³.

Определить: оптимальные параметры гидромонитора, обеспечивающие эффективную работу в заданных условиях.

Метод расчета основан на способе последовательных приближений.

Техническая характеристика

Грузоподъемность:	
номинальная	6,5
максимальная	13,0
Глубина бурения, м	600
Глубина разработки, м	до 150
Силовой привод буровой установки	Двигатель А-41 Г
Длина бурильной свечи, м	12—13,5
Длина секции добычного снаряда, м	6,0—10,0
Проходное сечение стола ротора, мм	250 (410)
Диаметр добычного снаряда, мм	168 (219)
Крутящий момент (на столе), кг·см	700
Мачта	Складывающаяся с одноосным трехроличным кронблоком
Насос буровой	НБ 12-63-40
Мощность генератора, кВт	20
Масса, кг	16 100
в том числе:	
буровой платформы	12 500
саней базы	3600
Габаритные размеры, м	
длина поверху платформы	14,0
длина опорной части базы	10,5
ширина	4,5
высота	1,1
Удельное давление на грунт, кг/см ²	0,77

Полное давление нагнетания за диффузором гидроэлеватора

$$\frac{10}{\rho g} P_2 = H_2 + \lambda \frac{H_2}{d_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g}, \quad (7.1)$$

где λ — коэффициент гидравлических сопротивлений пульповода;
 V_2 — скорость пульпы в пульповоде, м/с.

Второй член выражения (1) определяет величину потерь давления по длине пульповода ΔH

$$\Delta H = \lambda \frac{H_2}{d_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g}, \quad (7.2)$$

или величину удельных потерь давления

$$i = \frac{\Delta H}{H_2} = \lambda \frac{1}{d_2} \cdot \frac{V_2^2}{2g}, \quad (7.3)$$

$$Q = 150 \text{ м}^3/\text{ч} = 41,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}.$$

$$W = 0,785 \cdot 10^2 = 79,5 \text{ см}^2 = 7,85 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2,$$

$$V_2 = \frac{Q}{W} = \frac{41,7 \cdot 10^{-3}}{7,85 \cdot 10^{-3}} = 5,3 \text{ м/с},$$

$$Re = \frac{V_2 \cdot d_2}{\nu} = \frac{5,3 \cdot 0,1}{0,01 \cdot 10^{-4}} = 5,3 \cdot 10^5.$$

Используя универсальную формулу А.Д. Альтшуля, имеем

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{K_{\Sigma}}{d_2} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (7.4)$$

где K_{Σ} — коэффициент абсолютной шероховатости пульповода (для стальных труб $K_{\Sigma} = 0,15$).

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{0,15}{100} + \frac{68}{5,3 \cdot 10^5} \right)^{0,25} = 0,022.$$

Используя зависимости λ и V_2 , получим величину удельных потерь давления в пульповоде

$$i = 0,022 \frac{1}{0,1} \cdot \frac{5,3^2}{2 \cdot 9,8} = 0,315 \text{ м/м}.$$

Следовательно потери напора в пульповоде при глубине отработки $H_2 = 40$ м составляют

$$\Delta H = 40 \cdot 0,315 = 12,6 \text{ м}.$$

Полное давление нагнетания гидроэлеватора

$$\frac{10}{\rho g} \cdot P_2 = 40 + 12,6 = 52,6 \text{ м}.$$

Потери напора рабочей жидкости в шланге, соединяющим напорный водовод со скважинным снарядами:

Внутренний диаметр шланга, мм.....	50	76
l , м/м.....	10,9	1,55

$$i_{50} = \frac{1}{5 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,0235 \cdot \frac{21,3^2}{19,6} = 10,9 \text{ м/м},$$

$$i_{50} = \frac{1}{7,5 \cdot 10^{-2}} \cdot 0,0235 \cdot \frac{9,9^2}{19,6} = 1,55 \text{ м/м}.$$

Поскольку потери в шланге 50 мм составляют значительную величину (при $L = 20$ м $\Delta H = 218$ м вод. ст.) принимаем шланг диаметром 76 мм, где гидравлические потери составят $\Delta H = 31$ м вод. ст. или 0,31 МПа.

Потери давления рабочей жидкости в ставе составляют $\Delta h = 10 \div 15$ м вод. ст. или 0,1 ÷ 0,15 МПа.

Кроме потерь напора необходимо учесть разницу геофизических отметок верхнего и нижнего оголовка гидродобычного снаряда. Тогда давление у рабочей насадки гидроэлеватора

$$P^*_0 = P_0 - \Delta P - \Delta h + H \cdot \gamma \cdot 10^{-2}, \quad (7.5)$$

$$P^*_0 = 4,2 - 0,27 - 0,15 + 0,4 = 4,18 \text{ МПа}.$$

Для заданных условий работы и расхода воды принимаем диаметр рабочей насадки монитора $d_0 = 19$ мм при диаметре камеры смещения $D_2 = 49$ мм.

Расход рабочей жидкости ($d_0 = 19$ мм)

$$Q_0 = 0,785 \cdot (1,8 \cdot 10^{-2})^2 \cdot 0,96 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 383} = 82 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Напор нагнетания для гидроэлеватора $D_2 = 49$ мм составляет $H = 52$ м вод. ст.

Расход жидкости, которую может откачивать гидроэлеватор

$$Q_1 = 64 \text{ м}^3/\text{час}.$$

Исходя из соотношения $Q_1 = W_1 \cdot V_1$, максимальный диаметр насадки гидромонитора при отсутствии водопритока в скважину равен $d_1 = 16$ мм, что соответствует расходу около $60 \text{ м}^3/\text{час}$.

Общий баланс жидкости на гидроподъем и гидроразмыв составят

$$Q = Q_0 + Q_1 + \Delta Q = 82 + 60 + 4 = 146 \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (7.6)$$

где ΔQ — превышение производительности гидроэлеватора от водопроизводительности гидромонитора.

Далее определяем продольные размеры гидроэлеватора.

Угол внутреннего конуса насадки $\alpha \leq 50^\circ$.

Длина цилиндрического участка $l_{ц} = (0,6 - 1,0) d_0$.

Длина насадки $l_0 = (2,5 - 5,0) d_0$.

Расстояние от обреза насадки до начала камеры смещения $Z \leq (2 \div 2,5) d_0$.

Длина камеры смещения $L = (6 \div 8) D_2$.

Угол конусности диффузора $\alpha_g = (6 \div 8)^\circ$.

Следовательно:

- диаметр насадки гидроэлеватора $d_0 = 19$ мм (≈ 20 мм);
- диаметр камеры смещения $D_2 = 49$ мм;
- рабочее давление у насадки $P_0 = 4,19$ МПа;
- высота подъема $H_2 = 40$ м;
- расход воды через рабочую насадку гидроэлеватора $Q_1 = 32 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- расход воды, которую может откачать гидроэлеватор $Q'_1 = 64 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Разрушение свободными незатопленными струями в осушенном очистном пространстве производят в соответствии с методикой, предусматривающей установление взаимосвязи характеристик струй, формируемых гидромонитором скважинного добычного снаряда и параметров разрушения горного массива.

1. Выбор конструкции скважинного гидромонитора. С учетом используемой в данных горно-геологических условиях системы разработки с обрушением пласта песков и налегающих пород выбираем невыдвижной встроенный гидромонитор, как наиболее полно отвечающий условиям горных работ.

2. Определяем скорость вылета струи из насадки (3.1)

$$V_0 = \mu \sqrt{2g \cdot P_0 \cdot 10^2} = 42,5 \sqrt{4} = 85 \text{ м/с},$$

где μ — коэффициент расхода насадки ($\mu = 0,92$); g — ускорение свободного падения, $\text{м}^2/\text{с}$; P_0 — начальный напор у насадки, МПа.

3. Определяем необходимый диаметр насадки (3.3)

$$d_0 = \sqrt{\frac{4Q_0}{\pi \cdot V}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0112}{3,14 \cdot 85}} = 0,012 \text{ м},$$

где Q_0 — расход воды через насадку, $\text{м}^3/\text{с}$.

Гидроэлеватор с выбранными параметрами может поднимать на поверхность $64 \text{ м}^3/\text{ч}$ гидросмеси. С учетом содержания в гидросмеси до 40 % песка, расход воды через насадку определяем в размере $40 \text{ м}^3/\text{ч}$.

4. Вычисляем длину начального участка струи (3.5)

$$l_H = (F - B \cdot Re) d_0.$$

Для насадок:

- диаметром 9 мм $l_H = (62,4 - 16 \cdot 10^{-6} \cdot 0,765 \cdot 10^6) \cdot 0,009 = 0,45$ м;
- диаметром 12 мм $l_H = (62,4 - 16 \cdot 10^{-6} \cdot 1,02 \cdot 10^6) \cdot 0,012 = 0,55$ м;

где A и B — эмпирические коэффициенты, для встроенных невыдвижных гидромониторов: $A = 62,4$, $B = 16 \cdot 10^{-6}$; Re — число Рейнольдса

$$Re = \frac{V_0 \cdot d_0}{\nu}, \text{ для насадок,}$$

где ν — кинематическая вязкость жидкости ($\nu = 0,01 \text{ см}^2/\text{с}$).

Диаметр, мм.....	9	12
Re.....	$0,765 \cdot 10^6$	$1,02 \cdot 10^6$

5. Определяем напряжение (динамическое давление) необходимое для разрушения песка и подстилающих пород в осушенном забое

$$P_{кр} = (C_{вр} - C_{дл}) + (\gamma \cdot H \cdot 10^{-2} \cdot \text{tg} \varphi_{вр} - K_B \cdot \gamma \cdot H \cdot 10^{-2} \cdot \text{tg} \varphi_{дл}), \text{ МПа} \quad (7.7)$$

где $C_{вр}$, $C_{дл}$ — кратковременный и длительный показатель сцепления, МПа; γ — вес единицы объема пород, $\text{т}/\text{м}^3$; H — глубина разработки, м; $\varphi_{вр}$, $\varphi_{дл}$ — кратковременный и длительный угол внутреннего трения; K_B — коэффициент бокового давления.

а) напряжение (динамическое давление) необходимое для разрушения пласта песков

$$P_{\text{КРп}} = (0,02 - 0,012) + (1,97 \cdot 40 \cdot 10^{-2} \cdot 0,44 - 1 \cdot 1,97 \cdot 40 \cdot 10^{-2} \cdot 0,3) = 0,12 \text{ МПа};$$

б) напряжение (динамическое давление) необходимое для разрушения пласта глин

$$P_{\text{КРгл}} = (0,28 - 0,2) + (1,97 \cdot 40 \cdot 10^{-2} \cdot 0,5 - 1 \cdot 1,97 \cdot 40 \cdot 10^{-2} \cdot 0,17) = 0,34 \text{ МПа}.$$

6. Вычисляем предельные расстояния разрушения

$$l_{\text{КР}} = \left(\frac{P_0}{P_{\text{КР}}} \right)^{\frac{1}{k}} \cdot l_{\text{Н}}, \text{ м},$$

где k — показатель интенсивности распада струи (для встроенной конструкции $k = 0,85$).

Для пласта песков

$$l_{\text{КР}} = \left(\frac{4}{0,12} \right)^{0,85} \cdot 0,45 = 8,8 \text{ м}.$$

7. Определяем производительность гидроразрушения

$$\Pi = \frac{K_g \cdot F_{\text{КР}} \cdot \rho_{\text{СР}} \cdot V_{\text{СР}}^3 \cdot 3,6}{2W_s}, \text{ м}^3/\text{ч}, \quad (7.8)$$

где K_g — коэффициент диссипации, рассеивания энергии при гидроразрушении; $F_{\text{КР}}$, $\rho_{\text{СР}}$, $V_{\text{СР}}$ — параметры струи соответственно: площадь сечения, плотность и усредненная скорость на рассматриваемом расстоянии, W_s — удельная потенциальная энергия деформированного тела при сдвиге

$$\Pi_n = \frac{0,85 \cdot 0,038 \cdot 9367 \cdot 5,1 \cdot 3,6}{2 \cdot 6,5} = 25,2 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Производительность самотечного гидротранспорта в осушенном очистном пространстве определяется транспортирующей способностью потока, представляющей собой предельное количество твердого материала, которое поток способен переносить с собой, и зависящей от расхода воды, крупности, формы и плотности транспортируемого материала, а также от уклона, формы и материала русла.

При гидродобыче необходимая производительность задана процессом размыва. Тогда при известных других параметрах необходимо определить уклон почвы очистной камеры, обеспечивающий транспорт отбитого в забое песка подаваемым на забой количеством воды

$$i = \sqrt{\frac{\Pi}{Q_{\text{уд}}} \cdot \left(a + \frac{b}{Q_{\text{уд}}} \right)} = \sqrt{\frac{50}{25} \cdot \left(0,005 + \frac{0,030}{25} \right)} = 0,12, \quad (7.9)$$

где Π — производительность гидродобычи, т/ч; $Q_{\text{уд}}$ — расход потока пульпы на 1 м ширины русла, м³/ч; a , b — коэффициенты, характеризующие свойства транспортируемого материала (для сред-незернистых песков $a = 0,005$, $b = 0,030$).

Водоснабжение опытного участка планируется оборотным.

По результатам исследований напор в снаряде РСГ-2М должен быть 4÷6 МПа при расходе напорной воды около 150 м³/ч. В этих условиях для подачи напорной воды можно принять насос ЦНС-180/420 (подача 100 м³/ч, напор 4,2 МПа).

На основании полученных значений расходов воды, определяем необходимый диаметр магистрального водовода

$$D = 1,128 \sqrt{\frac{Q}{V}}, \text{ м}, \quad (7.10)$$

где Q — расход воды, м³/ч; V — скорость движения воды в трубопроводе, м/с.

$$D = 1,128 \sqrt{\frac{0,0674}{2,0}} = 0,19 \text{ м}.$$

Предварительно принимаем для водовода трубопровод с наружным диаметром 219 мм с толщиной стенки 6 мм.

Минимальная толщина стенки водовода определяется из формулы

$$\delta_{\text{min}} = \frac{PD}{2R} \cdot \frac{n}{mK}, \text{ мм}, \quad (7.11)$$

где P — давление в трубопроводе, кг/см², D — диаметр трубопровода, мм, R — предел текучести стали, кг/см², n — коэффициент перегрузки, m — коэффициент условий работ, K — коэффициент однородности стали.

$$\delta_{\min} = \frac{42 \cdot 207}{2 \cdot 2400} \cdot \frac{1,15}{0,6 \cdot 0,9} = 4,4 \text{ мм.}$$

В качестве источника водоснабжения используется пруд-отстойник. Для подачи воды на насосы типа ЦНС используются насосы типа ГР, равной или чуть большей производительности насосам ЦНС. Тип определяется в соответствии с принятой схемой.

Напорный гидротранспорт пульпы осуществляется основным рабочим механизмом (добычным снарядом) на сравнительно небольшое расстояние, которое не превышает 50 м.

Для минимальных значений величины удельного расхода воды удельный вес транспортируемой пульпы будет равен

$$\gamma = \frac{q + \gamma_T(1-m)}{q + (1-m)} = \frac{2,82 + 2,6(1-0,36)}{2,82 + (1-0,36)} = 1,3 \text{ т/м}^3, \quad (7.12)$$

где q — удельный расход воды на размыв и подъем песков, $\text{м}^3/\text{м}^3$; γ_T — удельный вес размываемой породы, т/м^3 ; m — пористость.

Необходимый диаметр пульповода определим на основании метода вариантов. Предварительно выбираем трубопровод с наружным диаметром 159 мм. При толщине стенки 4,5 мм внутренний диаметр пульповода будет равен 150 мм. При заданной производительности по гидросмеси выбранный диаметр трубопровода должен удовлетворять условиям $V_g > V_{\text{кр}}$, где V_g и $V_{\text{кр}}$ — соответственно действительные и критические скорости. Величину критической скорости определяем по формуле В.В. Трайниса

$$V_{\text{кр}} = \sqrt{gD} \cdot \sqrt[3]{\frac{\gamma_r - \gamma_0}{K\psi\lambda\gamma_r}} \cdot C, \text{ м/с,} \quad (7.13)$$

где D — диаметр трубопровода, м; ψ — коэффициент сопротивлений при свободном падении в среде; λ — коэффициент гидравлических сопротивлений при движении по трубопроводу чистой воды; K — эмпирический коэффициент; C — коэффициент, учитывающий содержание классов.

$$V_{\text{кр}} = \sqrt{9,81 \cdot 0,15} \cdot \sqrt[3]{\frac{1,3 - 1,0}{1,4 \cdot 0,55 \cdot 0,01553 \cdot 1,3}} \cdot 0,2 = 1,4 \text{ м/с.}$$

Т.к. коэффициент $C < 0,4$, значение критической скорости увеличивается на 20 %. С учетом поправки величины критической скорости составят $V_{\text{кр}} = 1,68 \text{ м/с}$.

Величина фактической скорости движения пульпы при суммарном расходе через насадки гидроэлеватора и гидромонитора ($0,0574 \text{ м}^3/\text{сек}$) будет равна

$$V_g = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,0574}{3,14 \cdot 0,15^2} = 3,2 \text{ м/с.}$$

В связи с тем, что величина фактической скорости превосходит значения критической скорости и, окончательно выбираем трубопровод с наружным диаметром 159 мм и толщиной стенки 4,5 мм.

Потери напора по длине трубопровода определяем по методике В.В. Трайниса, исходя из выражения

$$J_r = \left(i_0 \frac{\gamma_r}{\gamma_0} + \frac{\sqrt{g \cdot D} \cdot (\gamma_r - \gamma_0)}{K \cdot \psi \cdot V_g \cdot \gamma_0} \cdot C \right) \cdot l \cdot K, \quad (7.14)$$

где i_0 — гидравлические сопротивления при движении чистой воды, м вод. ст./м, l — длина пульповода, м, K — коэффициент местных сопротивлений.

$$J_r = \left(0,01553 \frac{3,22 \cdot 1,1}{0,15 \cdot 2,9 \cdot 9,81} + \frac{\sqrt{9,91 \cdot 0,15} \cdot (1,1 - 1,0)}{1,4 \cdot 0,55 \cdot 3,2} \cdot 0,2 \right) \cdot 50 \cdot 1,1 = 3,8 \text{ м.}$$

Складирование всех продуктов, которые могут быть получены при обработке добычных камер СГД, осуществляется в гидроотвале, емкость которого составляет 12-ти суточный объем добычи, т.е. $20\,000 \text{ м}^3$.

Выпуск пульпы из пульповода предусмотрен рассредоточенным. Равномерность нагрузки по фронту намыва достигается за счет шиберных заглушек.

В емкости гидроотвала будет образовываться пляж намыва. Расстояние осаждения частиц определяется из выражения

$$L_{\min} = 0,82 \frac{V}{W_{\min}} \cdot H, \text{ м,} \quad (7.15)$$

$$L_{\max} = 1,18 \frac{V}{W_{\max}} \cdot H, \text{ м,} \quad (7.16)$$

$$L_{\text{CP}} = \frac{V}{W_{\text{CP}}} \cdot H, \text{ м.} \quad (7.17)$$

где V — скорость потока у выпуска, м/сек; W_{max} , W_{min} , W_{CP} — соответственно максимальная, минимальная и средняя гидравлическая крупность фракций, м/с; L_{max} , L_{min} , L_{CP} — путь осаждения фракций соответственно максимального, минимального и среднего размера, м; H — глубина отстойника, м.

За максимальную крупность частиц для песков принимаем частицы размером 0,5 мм (содержание частиц крупнее указанных составляет не более 1,5 %). За минимальную крупность частиц для песков принимаем частицы размером 0,05 мм. Средний размер частиц равен 0,10 мм. Гидравлическая крупность частиц указанных размеров соответственно составит 6,0 см/с, 0,0153 см/с и 5,0 см/с. При глубине осаждения частиц 2,0 м и начальной скорости 1,0 м/с путь осаждения частиц будет равен

$$L_{\text{min}} = 0,82 \frac{1,0}{0,06} \cdot 2,0 = 27,3 \text{ м,}$$

$$L_{\text{max}} = 1,18 \frac{1,0}{0,0153} \cdot 2,0 = 154,0 \text{ м,}$$

$$L_{\text{CP}} = 1,0 \frac{1,0}{0,05} \cdot 2,0 = 40,0 \text{ м.}$$

Наилучшие результаты позволяют определить минимальные размеры приемной емкости продуктивных песков, при которых они будут откладываться равномерно по площади.

При длине 100 м, глубине 2,0 м, ширина емкости составит около 100 м.

В качестве гидроотвала и пруда-отстойника может использоваться естественная емкость в виде балки, разделенной дамбой. Для сбрасывания воды из гидроотвала в пруд-отстойник в дамбе укладывается труба или устраивается шандорный колодец.

Диаметр трубопровода, используемого в качестве шандорного колодца, определяем исходя из соответствия расхода воды, сбрасываемой шандорным колодцем. Расход воды, сбрасываемой шандорным колодцем, определяем исходя из выражения

$$Q = m \cdot b \cdot H \cdot \sqrt{2g \cdot h}, \text{ м}^3/\text{с,} \quad (7.18)$$

где b — длина водосливной части, м; H — высота слоя сливающейся воды, м; m — коэффициент расхода

$$Q = 0,42 \cdot 1,099 \cdot 0,4 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,1} = 0,260, \text{ м}^3/\text{с.}$$

Полученное значение расхода сбрасываемой шандорным трубопроводом, соответствует производительности снаряда РСГ-2М, которая составляет 0,05 м³/с. Принимаем диаметр трубопровода шандорного колодца равным 377 мм при толщине стенки трубы 9 мм.

Устойчивость пласта песков, налегающих и подстилающих пород, позволяющая проходить в них без крепления горные выработки, во многом определяют технологию добычи, объем потерь и разубоживания, систему расположения добычных скважин и их количество для добычи определенного объема песков, а следовательно и экономику способа СГД.

На параметры проходимых горных выработок, кроме общеизвестных факторов, значительное влияние оказывают особенности технологии нового способа добычи:

- ведение работ без присутствия в очистном пространстве людей;
- кратковременность обработки, а, следовательно, малый срок службы отдельных выработок.

Это позволяет при расчете пролетов обнажений и при разработке ориентироваться на предельно достижимые пролеты, устойчивые только определенное время, которого при правильно выбранных параметрах должно хватить на извлечение запланированного объема песков.

Поэтому все процессы, происходящие в массивах горных пород при их обработке способом СГД, должны рассматриваться в динамике.

Для расчета параметров горных выработок с учетом времени их проходки и поддержания на основании данных лабораторных испытаний реологических характеристик налегающих глинистых пород Малышевского месторождения подобраны уравнения кривых длительной прочности (3.65):

- сопротивление одноосному сжатию

$$\sigma_{\text{сж}(t)} = 0,4 - 0,013 \cdot t^{0,32}, \text{ МПа;}$$

- сопротивление изгибу

$$\sigma_{\text{изг}(t)} = 0,2 - 0,032 \cdot t^{0,25}, \text{ МПа;}$$

- сцепление

$$C_{(t)} = 0,02 - 0,003 \cdot t^{0,2}, \text{ МПа};$$

- угол внутреннего трения

$$\text{tg}\varphi_{(t)} = 0,65 - 0,1 \cdot t^{0,2}, \text{ МПа}.$$

В связи с отсутствием данных о прочностных свойствах пласта песков в налегающих породах, для расчета процесса размыва взяты показатели прочности Малышевского месторождения.

В процессе подработки уступа песка, на котором установлено, что при разрушении в нем характерно образование свода естественного равновесия.

Для деформирования налегающих глин характерно образование горизонтальных пролетов, расслоение и обрушение отдельными слоями с образованием карнизов, для описания механической схемы работы, которой может быть использована гипотеза плит-балок.

В связи с большой мощностью пласта титано-цирконовых песков и соизмеримой с ней мощностью пластов налегающих глинистых пород добыча рудного песка приведет к неминуемому сдвигу поверхности. Сдвигение подработанных глинистых отложений происходит со срезом по вертикальной поверхности.

С учетом характера пород налегающей толщи основным мероприятием, обеспечивающим безопасность и нормальные условия работы оборудования, находящегося на поверхности, и обслуживающего персонала следует считать вынесение зоны подработки от ствола вертикальной скважины, что практически обеспечивается отработкой отдельными секторами, когда наземная управляющая установка располагается над неотработанной частью массива.

Добычные работы, в зависимости от порядка взаимодействия добычных снарядов будут производиться по двум схемам. При этом размыв осуществляется из одной добычной скважины, а подъем возможен и из другой, смежной с ней камеры.

По первой схеме добычным агрегатом производится размыв двух секторов по 60° в порядке, показанном на рис. 8. В начале размыв ведется на целик руды, оставшейся после отработки предыдущей скважины. Доставка рудного песка до приемного зумпфа осуществляется за счет отраженной от забоя струей воды. Для предотвращения оседания тяжелой фракции на днище камеры угол наклона днища должен быть не менее 10° . Этот угол формируется путем определенного способа размыва рудного пласта.

При размыве секторов (II стадия), направленных навстречу друг к другу, произойдет смыкание камер, и снаряды будут работать совместно. Доставка отбитой рудной массы будет осуществляться струями одного гидромонитора к выдачному устройству другого снаряда.

Необходимо взаимодействие двух снарядов по направлению.

Третья стадия заключается в отработке сектора 120° , расположенного вдоль основной оси.

По второй схеме добычные снаряды на второй стадии после смыкания очистных камер работают друг на друга. Гидромониторы направлены в одну сторону и производят размыв и доставку отбитой рудной массы на гидромонитор смежной камеры. Крайний из снарядов, работающий на целик, производит размыв встречным забоем и осуществляет подъем песков, как своей камеры, так и соседней.

С учетом накопленного опыта отработки пласта песков размыв должен вестись в нижней части обрабатываемого пласта при повороте гидромонитора в горизонтальной плоскости до полной отработки данной камеры. Объем песков, вынимаемых из камеры, зависит от мощности пласта песков и прочности пород кровли. Пролет кровли очистных камер определяется по уравнению предельного пролета

$$L_{(t)} = A \sqrt{\frac{\sigma_{\text{изг}(t)} \cdot h_1 \cdot 98 - K_6 \cdot \gamma \cdot H}{(1 + K_{\text{п}}) \cdot \gamma}}, \quad (7.19)$$

где A — коэффициент, учитывающий характер зацемяления на опорах; $\sigma_{\text{изг}(t)}$ — предел прочности пород кровли на изгиб на момент (t) завершения отработки данной очистной камеры, МПа; h_1 — мощность несущего слоя кровли, м; K_6 — коэффициент бокового распора; γ — вес единицы объема пород налегающей толщи, т/м^3 ; H — мощность налетающей толщи пород, м; $K_{\text{п}}$ — коэффициент пригрузки со стороны вышележащей толщи.

Тогда предельный пролет кровли очистных камер в зависимости от прочности налегающих пород (кровля представлена глинистыми породами)

$$L = 2 \sqrt{\frac{0,4 \cdot 5 \cdot 98 - 1,97 \cdot 3,0 \cdot 0,01}{1,97}} = 8,96 \text{ м}.$$

Объем песка, извлекаемого при выемке из одной очистной камеры, при выемочной мощности 9 м при наличии в кровле глины составит 1622 м^3 .

Расчетное время полной обработки камеры составит 65 ч или 2,7 суток. После извлечения из очистной камеры рассчитанного объема песка монитор переводится на обработку следующей очистной камеры.

Сигналом к завершению обработки данной очистной камеры также будет служить срабатывание ближайшего к этой камере глубинного репера (датчика обрушения). В этом случае гидромонитор переводится на обработку следующей очистной камеры даже при неполном извлечении песка из предыдущей. При несоответствии добытого из очистной камеры объема песка расчетному, гидромонитор поднимается на 0,5 м и размыв продолжается.

После выемки рассчитанного объема песка из скважины или срабатывания глубинных реперов добычные работы на скважине должны быть прекращены. Сразу же вслед за этим должна быть демонтирована управляющая установка и с помощью буровой установки или автокрана извлечен скважинный снаряд и обсадная колонна.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. *Аренс В.Ж.* Физико-химическая геотехнология. — М.: МГГУ, 2001.
2. *Аренс В.Ж., Бурцев Л.И.* Развитие метода гидромеханизации при производстве горных работ. — М.: Изд. АН СССР, 1963.
3. *Аренс В.Ж., Исмагилов Б.В., Шпак Д.Н.* Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. — М.: Недра, 1980.
4. *Бабичев Н.И.* Проектирование геотехнологических комплексов / Учебное пособие. — М.: Изд-во МГРИ, 1985.
5. *Башкатов А.Д.* Прогрессивные технологии сооружения скважин. — М.: Недра, 2003.
6. *Бессонов Е.А.* Технология и механизация гидромеханизированных работ. — М.: Центр, 1999.
7. *Васильев О.Ф.* К проектированию установки для безвскрышной добычи погребенных россыпных месторождений полезных ископаемых. — Новосибирск: Изд. института гидродинамики СО АН СССР, 1962.
8. *Великанов М.А.* Движение наносов. — М.: Изд. МГУ, 1948.
9. *Гаджумян Р.А., Калинин А.Г., Никитин Б.А.* Инженерные расчеты при бурении глубоких скважин. — М.: Недра, 2000.
10. *Егоров В.К., Ялтанен Ц.М.* Гидромеханизация: справочный материал. — М.: МГГУ, 1999.
11. *Ильштейн А.М., Либерман Ю.М. и др.* Методы расчета целиков и потолочин камер рудных месторождений. — М.: Наука, 1964.
12. *Исмагилов Б.В., Хрулев А.С.* Исследование технологии гидравлического разрушения и доставки фосфоритной руды при СГД в затопленной камере / Проблемы геотехнологии. Тр. ГИГХС, вып.59. — М.: Недра, 1982.
13. *Калинин А.Г., Никитин Б.А., Солодкий К.М., Султанов Б.З.* Бурение наклонных и горизонтальных скважин. — М.: Недра, 1997.
14. *Калинин А.Г., Кульчитский В.В.* Естественное и искусственное искривление скважин. — М. / Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006.
15. *Курпин А.И.* Руководство по проектированию безнапорного гидротранспорта угля, породы и их смесей. — М.: Недра, 1962.
16. *Курганов А.М., Федоров Н.Ф.* Справочник по гидравлическим расчетам систем водоснабжения и канализации. — Л.: Стройиздат, 1973, С. 408.
17. *Лезгинцев Г.М.* Гидромеханизация разработки россыпей и методы расчетов. — М.: Наука, 1968.

18. Лобанов Д.П., Смолдырев А.Е. Гидромеханизация геологоразведочных и горных работ. — М., Недра, 1974.
19. Методические вопросы исследований в геотехнологии. Выпуск 2, — Люберцы: ГИГХС, 1979.
20. Никонов Г.П., Кузьмич И.А. Научные основы гидравлического разрушения углей. — М.: Наука, 1973.
21. Нурок Г.А. Гидромеханизация открытых разработок. — М.: Недра, 1970.
22. Примеры расчетов по гидравлике. — М.: Строиздат, 1997.
23. Пучков Л.А., Михеев О.В., Атрушкевич В.А., Атрушкевич О.А. Интегрирование технологий добычи угля на основе гидромеханизации. — М.: МГГУ, 2000.
24. Сборник типовых норм выработки и времени на разработку россыпей гидравлическим способом. — М.: Госгортехиздат, 1961.
25. Сизов Г.Н. Работа затопленной гидромониторной струи. — М.: Водтрансиздат, 1953.
26. Советско-Югославский симпозиум по проблемам скважинной гидравлической технологи. — М.: Изд. МГРИ, 1991.
27. Справочник по гидравлическим расчетам. / Под редакцией П.Г. Киселева. М.: Энергия, 1972.
28. Фридман Б.Э. Всасывание песка под водой. — Гидротехническое строительство, 1951.
29. Фридман Б.Э. Гидроэлеваторы. — М.: Машгиз, 1960.
30. Хныкин В.Ф. Разрушение горных пород гидромониторными струями на открытых разработках. — М.: Наука, 1969.
31. Хныкин В.Ф., Шавловский С.С. Влияние успокоителей на компактность гидромониторной струи. — М.: Недра, 1964.
32. Хрулев А.С., Папко В.П., Умеренко В.В. Основные направления исследований по скважинной гидродобыче золотосодержащих песков / Сб.: Науч. Трудов ВНИИ-1 «Повышение эффективности технологии разработки россыпных месторождений» — Магадан, 1989.
33. Хрулев А.С. Методика расчета параметров выемки песков из маломощных погребенных россыпей способом СГД Горный информационно-аналитический бюллетень № 9 — М.: МГГУ, 2003, С. 149—150.
34. Хрулев А.С. Технология отработки мощных многолетнемерзлых россыпей способом скважинной гидродобычи (СГД) Горный информационно-аналитический бюллетень № 12 — М.: МГГУ, 2002, С. 125—127.
35. Хчяян Г.Х., Нафтулин И.С., Глухов Б.П. Моделирование в геотехнологии. Труды ГИГХСа. — М.: 1973.
36. Хчяян Г.Х., Мижерова Р.С., Романов В.В. Расчет параметров цефиков при СГД с учетом коэффициента формы. Труды ГИГХС, вып. 41. — М.: 1977. С. 20—22.
37. Цяпко Н.Ф., Чапка А.М. Гидроотбойка угля на подземных работах. — М.: Госгортехиздат, 1960.
38. Черней Э.И., Бабичев Н.И. и др. Моделирование процессов размыва золотосодержащих песков применительно к скважинной гидродобыче № 3. — «Колыма», 1975, С. 7—9.
39. Юсфин А.П. Гидромеханизация. — М.: Стоиздат, 1974.
40. Ялтенен Ц.М. Проектирование открытых гидромеханизированных и дражных разработок месторождений. — М.: Изд. МГГУ, 2005.

ПРИЛОЖЕНИЯ

СПИСОК АВТОРСКИХ СВИДЕТЕЛЬСТВ ПО СГД

1	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1460278. — М., 1987	Хрулев А.С., Брайко В.Н., Егупов А.А., Стариков К.М., Сурнин О.Н.
2	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и агрегат для его осуществления.	Авт. Свид. СССР № 1470960. — М., 1988.	Хрулев А.С., Якунин О.Н., Плотников В.Б.
3	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1634767. — М., 1989	Хрулев А.С., Папко В.П., Умеренко В.В.
4	Способ разработки вечномерзлых россыпей	Авт. Свид. СССР № 1710753. — М., 1990	Хрулев А.С., Лавров Н.П., Перльштейн Г.З.
5	Способ скважинной разработки многолетнемерзлых россыпей	Патент России № 2009323 С1. — М., 1991	Хрулев А.С., Лавров Н.П.
6	Способ сооружения подземного резервуара в грунте	Патент России № 2141442, 1999.	Хрулев А.С., Смирнов В.И., Теплов М.К., Борисов В. В.
7	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и устройство для его осуществления.	Патент России № 2181434. — М., 2002.	Хрулев А.С., Смирнов В.И., Теплов М.К., Кубланов А.В.
8	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и устройство для его осуществления	Патент России № 2256796. — М., 2005.	Хрулев А.С.
9	Эрлифт	Авт. Свид. СССР № 868132 М., 1981	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н. Буксеев В.В.

10	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 899967 М., 1981	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Буксеев В.В., Юлиштейн Л.Е., Беленький В.И., Хрулев А.С., Коваленко Е.С.
11	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 825966 М., 1981	Шпак Д.Н., Аренс В.Ж., Буксеев В.В., Мишуткин В.Ф., Фролов Н.П., Ляхов А.И.
12	Способ монтажа устройства для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 901532 М., 1981	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Блитштейн Л.Е., Харитонов Ю.В.
13	Скважинный земснаряд	Авт. Свид. СССР № 1099082 М., 1984	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Холмогоров А.П., Шлыков Л.А., Борисенко В.К., Светлицкий Д.А.
14	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1149017 М., 1984	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Чигирик В.М., Бевза Ю.В., Дубикоский Ю.С.
15	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и устройство для его осуществления	Авт. Свид. СССР № 1151674 М., 1984	Шпак Д.Н., Аренс В.Ж., Борисенко В.К., Каган Я.М., Горбатики В.А.
16	Способ гидродобычи мерзлых раздельнозернистых пород и устройство для его осуществления	Авт. Свид. СССР № 1105651 М., 1984	Шпак Д.Н., Аренс В.Ж., Куррамин В.П., Павлов В.И.
17	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1476140 М., 1989	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н.
18	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1479649 М., 1989	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н.

19	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1229346 М., 1986	Шпак Д.Н., Арнес В.Ж., Демидов В.П., Куафман П.В., Масюков Н.И.
20	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1167332 М., 1985	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Минжорова Р.С.
21	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 602685 М., 1977	Аренс В.Ж., Исмагилов Б.В.
22	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1550146 М., 1989	Шпак Д.Н., Аренс В.Ж., Шрайбер В.А.
23	Устройство для добычи полезных ископаемых скважинным способом	Авт. Свид. СССР № 314885 М., 1971	Мельников Н.В., Аренс В.Ж., Шевченко В.П., Хчян Г.Х., Д.Н. Шпак
24	Скважинная гидромониторная установка	Авт. Свид. СССР № 374453 М., 1972	Аренс В.Ж., Зубакин Ю.С., Фролов Н.П., Селищев М.А., Шевченко В.П., Исмагилов Б.В., Токарев А.Е., Каленик В.М., Союнен В.А., Сергеев В.П., Зыков В.А.
25	Гидромониторная головка	Авт. Свид. СССР № 406014 М., 1973	Аренс В.Ж., Зубакин Ю.С., Селищев М.А., Исмагилов Б.В.
26	Способ разработки дисперсных пород	Авт. Свид. СССР № 534561 М., 1976	Мельников Н.В., Аренс В.Ж., Шевченко, В.П.
27	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и устройство для его осуществления	Авт. Свид. СССР № 1221357 М., 1985	Шпак Д.Н., Аренс В.Ж., Борисенко В.К., Чижевский М.В.
28	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1479650 М., 1989	Аренс В.Ж., Ярославцев Ю.П., Исмагилов Б.В., Шпак Д.Н.

29	Способ размыва пород при извлечении материалов из подземных формаций через скважины	Авт. Свид. СССР № 1398526 М., 1988	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Петрова Т.П.
30	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и устройство для его осуществления	Авт. Свид. СССР № 1457506 М., 1988	Шпак Д.Н., Аренс В.Ж.
31	Способ создания импульса давления в электропроводной жидкости	Авт. Свид. СССР № 1540400 М., 1989	Вороновский Ю.Д., Гридин О.М., Аренс В.Ж., Моргунов Э.Ф., Реморов Б.С.
32	Способ контроля границ проницаемых зон и подземных коллекторов	Авт. Свид. СССР № 1492807 М., 1989	Аренс В.Ж., Гридин О.М., Бирман И.М.
33	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1565159 М., 1990	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Вороновский Ю.Д., Моргунов Э.Ф., Гридин О.М.
34	Способ извлечения полезных ископаемых через скважины	Авт. Свид. СССР № 1455806 М., 1988	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Хчян Г.Х., Реутовский В.Ф., Новосад Л.Г., Харламов О.Д., Чигрик В.М.
35	Способ скважинной гидродобычи мерзлых раздельнозернистых пород и устройство для его осуществления	Авт. Свид. СССР № 1385722 М., 1987	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Петрова Т.П.
36	Способ подземного растворения калийных залежей	Авт. Свид. СССР № 1380339 М., 1987	Барыбин В.Н., Аренс В.Ж., Виноградов Д.Н., Реморов Б.С., Петрова Т.П.
37	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и смесь для закрепления пород при его осуществлении	Авт. Свид. СССР № 1475240 М., 1988	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Шрайбер В.А.

38	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1466347 М., 1988	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Служитель Я.Б.
39	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1501613 М., 1989	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Демьянова И.Л.
40	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1494611 М., 1989	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Гридин О.М., Моргунов Э.Ф., Вороновский Ю.Д.
41	Устройство для подземной выплавки серы	Авт. Свид. СССР № 1513987 М., 1989	Шпак Д.Н., Аренс В.Ж., Служитель Я.Б., Грязнухин В.Е.
42	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Авт. Свид. СССР № 1500025 М., 1989	Резник Л.А., Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Гончаров А.Г.
43	Устройство для бурения разветвленных узлов скважин	Авт. Свид. СССР № 1789604 М., 1990	Аренс В.Ж., Бирчак М.И., Шпак Д.Н., Мижерова Р.С.
44	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых из многопластовых залежей	Авт. Свид. СССР № 1457507 М., 1988	Аренс В.Ж., Шпак Д.Н., Мижерова Р.С.
45	Способ выемки камер при скважинной гидродобыче месторождений полезных ископаемых	А. с. 28831 СССР, E21C 41/04. Опубликовано в Б.И. 15.10.78 № 38.	Бабичев Н.И. и др.
46	Способ скважинной гидродобычи	А. с. 646630 СССР, E21C 45/00. 13.10.78.	Бабичев Н.И. и др.
47	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых	А. с. 71446 СССР, E21C 45/00 7.03.79.	Бабичев Н.И. и др.
48	Устройство для скважинной гидродобычи твёрдых полезных ископаемых	А. с. 11295 СССР, E21C 45/00 25.01.80. Б.И. № 3.	Бабичев Н.И. и др.
49	Пробоотборник для тяжёлых металлов	А. с. 11416 СССР, E21B 49/02. 25.01.80. Б.И. № 3.	Бабичев Н.И. и др.

50	Способ открытой разработки месторождений полезных ископаемых.	А. с. 28443 СССР, E21C 45/00 21.12.79.	Бабичев Н.И. и др.
51	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и устройство для его осуществления.	А. с. 46115 СССР, E21C 45/00 07.07.80. Б.И. № 25.	Бабичев Н.И. и др.
52	Скважинный гидромонитор	А. с. 28013 СССР, E21C 45/00. 15.05.82. Б.И. № 18.	Бабичев Н.И. и др.
53	Скважинный гидромонитор	А. с. 56794 СССР, E21C 45/00. 07.09.82. Б.И. № 33.	Бабичев Н.И. и др.
54	Устройство для скважинной гидродобычи тяжёлых минералов	А. с. 1094964 СССР, E21C 45/00 30.05.84. Б.И. № 20.	Бабичев Н.И. и др.
55	Устройство для скважинной гидродобычи полезных ископаемых	А. с. 1370244 СССР, E21C 45/00. 30.01.88. Б.И. № 4.	Бабичев Н.И. и др.
56	Способ подземного выщелачивания полезных ископаемых	А. с. 1377374 СССР, E21B 43/28. 29.02.88. Б.И. № 8.	Бабичев Н.И. и др.
57	Оборудование для скважинной гидродобычи	Патент США № 4934466 от 19.06.1990.	Бабичев Н.И. и др.
58	Метод скважинной гидродобычи минеральных ресурсов	Патент США № 5031963 от 16.07.1991.	Бабичев Н.И. и др.
59	Метод скважинной гидродобычи минеральных ресурсов.	Патент США № 4906098 от 6.08.1991.	Бабичев Н.И. и др.
60	Метод скважинной гидродобычи растворимых минералов	Патент США № 5127710 от 7.07.1992.	Бабичев Н.И. и др.
61	Нижний оголовок скважинного гидродобычного снаряда	Патент РФ № 20060393 от 20.05.1996	Бабичев Н.И. и др.
62	Способ скважинной гидродобычи растворимых минералов	Патент РФ № 2078212 от 27.04.1997.	Бабичев Н.И. и др.
63	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Патент РФ № 2081324 от 10.06.1997.	Бабичев Н.И. и др.

64	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Патент РФ № 2081325 от 10.06.1997.	Бабичев Н.И. и др.
65	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых из мощных залежей	Патент РФ № 2081326 от 10.06.1997.	Бабичев Н.И. и др.
66	Способ разработки пологозалегающих месторождений	Патент РФ № 2086767 от 10.08.1997	Бабичев Н.И. и др.
67	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Патент РФ № 2086768 от 10.08.1997	Бабичев Н.И. и др.
68	Способ разработки месторождений полезных ископаемых	Патент РФ № 2101503 от 10.01.1998	Бабичев Н.И. и др.
69	Нижний оголовок скважинного гидродобычного снаряда	Патент РФ № 2101504 от 10.01.1998	Бабичев Н.И. и др.
70	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Патент РФ № 2101505 от 10.01.1998.	Бабичев Н.И. и др.
71	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых	Патент РФ № 2101506 от 10.01.1998.	Бабичев Н.И. и др.
72	Устройство для крепления кровли добычных камер при скважинной гидродобыче полезных ископаемых	Патент РФ № 2101507 от 10.01.1998	Бабичев Н.И. и др.
73	Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых и скважинный гидродобычный снаряд для его осуществления	Патент РФ № 2109949 от 27.04.1998.	Бабичев Н.И. и др.
74	Способ вскрытия продуктивных пластов текучих полезных ископаемых и устройство для его осуществления	Патент РФ № 21213579 от 20.12.1998.	Бабичев Н.И. и др.
75	Способ подводной добычи песчано-гравийной смеси	Патент РФ № 2180399 от 10.03.2001	Бабичев Н.И. и др.

76	Способ вскрытия продуктивного пласта текучего полезного ископаемого	Патент РФ № 2180699 от 20.03.2002.	Бабичев Н.И. и др.
77	Способ формирования технологической полости в неустойчивых породах продуктивного горизонта	Патент РФ № 2180940 от 27.03.2002.	Бабичев Н.И. и др.
78	Способ разработки обводнённых песчано-гравийных месторождений	Патент РФ № 2186215 от 27.07.2002.	Бабичев Н.И. и др.
79	Способ скважинной гидродобычи твёрдых полезных ископаемых	Патент РФ № 2181160 от 10.04.2002.	Бабичев Н.И. и др.
80	Способ формирования технологической полости в устойчивых породах продуктивного горизонта	Патент РФ № 2181433 от 20.04.2002	Бабичев Н.И. и др.
81	Способ разработки обводнённых песчано-гравийных месторождений	Патент РФ № 2186215 от 27.07.2002	Бабичев Н.И., Ключко С.А.
82	Устройство для очистки частиц минерального сырья от поверхностных примесей	Патент РФ № 2190477 от 10.10.2002.	Бабичев Н.И., Ключко С.А.
83	Инструмент для скважинной гидродобычи	Патент США № US 6460936 В1 от 8.10.2002.	Абрамов Г.Ю., Бабичев Н.И. и др.
84	Пульповод гидродобычного снаряда	Патент РФ № 2272106 С1 от 20.03.2006.	Бабичев Н.И. и др.
85	Нижний оголовок скважинного гидродобычного снаряда	Патент РФ № 2272142 от 20.03.2006.	Бабичев Н.И. и др.
86	Гидромонитор	Патент РФ № 2272143 от 20.03.2006.	Бабичев Н.И. и др.
87	Установка для гидродобычи полезных ископаемых	Патент РФ № 2272145 от 20.03.2006.	Бабичев Н.И. и др.
88	Установка для подводной гидродобычи полезных ископаемых	Патент РФ № 2272146 от 20.03.2006.	Бабичев Н.И. и др.

СТАТЬЯ. «РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ ДОБЫЧНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ ФОСФОРИТНЫХ РУД»*

Технико-экономическая эффективность метода скважинной гидродобычи в значительной степени определяется конструктивными и рабочими параметрами добычных агрегатов. Одним из показателей, характеризующих эффективность данного метода, является объем руды, добытой с 1 пог. м мощности рудного пласта добычной камерой.

На первом этапе опытных работ по скважинной гидродобыче была разработана конструкция гидродобывного агрегата, состоящего из гидромонитора со стволом длиной 0,4 м, шарнирно укрепленного на вертикальной водоподающей трубе, и выдачного механизма (гидроэлеватора). Как показали опыты, эффективность отработки добычных камер данными агрегатами была невысокой. Объем добычи с 1 пог. м мощности фосфоритного пласта составлял всего лишь 90—100 г руды. Для отработки камеры достаточно больших размеров таким агрегатом требуется предварительное осушение месторождения.

В связи с этим была поставлена задача создания добычных агрегатов, специально предназначенных для скважинной гидродобычи фосфоритных руд сильнообводненных месторождений и обеспечивающих увеличение объема руды, добываемой с 1 пог. м мощности фосфоритного пласта,

Метод скважинной гидродобычи фосфоритных руд характеризуется следующими особенностями:

- процесс ведется через скважины без крепления выработанного пространства; добыча производится в затопленной среде напорной струей, которая эффективно разрушает рудный пласт в пределах 0,2—0,5 м.

С учетом указанных особенностей гидродобычи сформулированы следующие требования к технологическому процессу и порядку отработки добычных камер:

- пласт отрабатывается отдельными камерами с оставлением податливых межкамерных целиков;

- размер камеры определяется устойчивым пролетом кровли (для условий фосфоритных месторождений Прибалтики диаметр камеры в первом приближении равен 14—18 м);
- быстрота отработки камеры диктуется временным фактором вследствие деформации горных пород налегающей толщи; (ориентировочно время отработки камеры принимается равным 14—16 ч);
- выемка камеры производится, начиная с подошвы пласта, отдельными секторами; в процессе подрезки происходит обрушение пласта и завал рабочих органов механизма разрушения и частично всаса выдачного механизма.

В связи с перечисленными выше особенностями процесса скважинной гидродобычи добычной агрегат должен удовлетворять следующим основным условиям:

- обеспечивать эффективный размыв фосфоритного пласта без его осушения с радиусом действия 7—9 м от оси скважины;
- обеспечивать эффективное транспортирование разрушенной руды ко всасу выдачного механизма при минимальных потерях руды в камере;
- управление процессом гидроразмыва и транспортирования руды должно быть достаточно простым, позволяющим автоматизировать технологию добычи;
- конструкция добычного агрегата должна обеспечивать минимальные затраты времени на монтаж и демонтаж.

В результате конструкторских разработок и испытаний ряда опытных образцов были определены требования к гидромониторным установкам:

- гидромонитор должен быть подвижным и обеспечивать продвижение насадки непосредственно за забоем с целью эффективного гидроразмыва фосфоритного пласта в затопленной среде;
- производительность гидроразмыва руды должна быть не менее 70—80 т/ч по руде;
- гидромонитор должен быть управляемым, при этом необходимо обеспечить вывод его в горизонтальную плоскость и продвижение по пласту с сохранением первоначально заданного направления в горизонтальной и вертикальной плоскостях;
- управление гидромонитором должно быть достаточно простым и осуществляться с поверхности;

* В.Ж.Аренс, А.Е.Токарев, Ю.С.Зубакин, М.А.Селищев, Б.В.Исмагилов, В.П.Шевченко, Н.П.Фролов, Л.Е.Блитштейн.

- гидромониторная установка должна располагаться в скважине диаметром 300—350 мм с максимальным использованием ее сечения.

Были определены также требования к выдачному механизму:

- производительность выдачного механизма должна обеспечивать отработку камеры в течение 14—16 ч;
- выдачной механизм должен надежно работать в условиях частичного завала его всаса разрушенной рудой и кусками пород налегающей толщи;
- конструкция выдачного механизма должна обеспечивать возможность приподнимать его в камере после прекращения работы установки.

С учетом перечисленных выше требований были разработаны и изготовлены гидромониторная и эрлифтная установки.

Гидромониторная установка состоит из головки, помещенной на конце последнего звена телескопического устройства и предназначенной для гидравлического разрушения и транспортирования гидросмеси ко всасу эрлифта, нижнего поворотного колена, служащего для вывода телескопического устройства из вертикального в горизонтальное положение и передачи воды из водоподающей трубы в телескопическое устройство, тальрепа, поворотного устройства, предназначенного для вращения телескопического устройства в горизонтальной плоскости, верхнего поворотного колена, двухбарабанной электрической лебедки, служащей для подачи гидромонитора на забой и возвращения его в исходное положение, контрольного механизма, с помощью которого осуществляется контроль положения головки в горизонтальной плоскости, пружинного натяжного устройства.

Эрлифтная установка выполнена трехтрубной с расположением труб одна в другой. Наружная труба — пульповыдачная — диаметром 273 мм; внутри нее проходят воздухоподающая труба диаметром 89 мм и водоподающая диаметром 43 мм, расположенные соосно.

Нижние концы водоподающей трубы заканчиваются насадкой, а воздухоподающей — форсункой кольцевого типа. Пульповыдачная труба внизу заканчивается решеткой с размером окон 70x100 мм. К верхней части пульповыдачной трубы крепится воздухоотделитель тарельчатого типа. Наклонное днище воздухоотделителя с углом наклона 35—40° переходит в днище сбросного короба, приваренного к воздухоотделителю под тем же углом. К концу его на тросах крепится первое звено телескопического пульпослива, служащего для направления пульпы в зумпф землесоса.

Опытные работы по скважинной гидродобыче выявили необходимость создания взамен ранее применявшейся четырехной вышки с ручными лебедками механизированного передвижного агрегата, обеспечивающего соблюдение следующих требований:

- высокой мобильности;
- простоты и быстроты установки рабочих механизмов над скважинами;
- механизации операций спуска и подъема гидромониторной и эрлифтной установок в скважину и управления ими;
- простоты сочленения магистральных пульповодов водоводов и воздухопроводов с рабочими механизмами;
- управления необходимыми рабочими операциями при ведении технологического процесса из кабины агрегата;
- сосредоточения в кабине вторичных приборов для контроля давлением и расходом энергетической воды и сжатого воздуха расходом и плотностью гидросмеси, положением гидромониторной головки в пласте, положением гидромониторной и эрлифтной установок в вертикальной плоскости, углом поворота гидромониторной установки в горизонтальной плоскости.

В соответствии с перечисленными выше требованиями были разработаны два варианта передвижного гидродобычного агрегата: несамоходный, монтируемый на платформе санного типа, и самоходный, монтируемый на раме гусеничного хода электрического крана в болотном исполнении.

Самоходный гидродобычной агрегат состоит из ходовой части электрического гусеничного крана в болотном исполнении (ПК-3М или КПТ-1), платформы, электрических лебедок, кабины, регулируемой опоры, стреловой системы с каретками, в которых закрепляются гидромониторная и эрлифтная установки.

В 1970 г. производились испытания опытно-промышленного образца несамоходного гидродобычного агрегата на подъем и опускание стрелы с рабочими механизмами, на работоспособность лебедок для подъема, опускания гидромониторной и эрлифтной установок, на надежность срабатывания всех электрических пускателей и тормозных устройств. Управление агрегатом производилось из кабины, расположенной на платформе.

Испытания гидродобычного агрегата при откачке фосфоритной руды через скважины проводились следующим образом.

После окончания монтажа гидромониторной установки проверяли работоспособность лебедки управления, телескопического устройства, гидромониторной головки и нижнего поворотного колена. После окончания монтажа эрлифтной установки проверяли работоспособность форсунки.

После этого гидромониторную и эрлифтную установки располагали на шпалах под стрелой и прикрепляли к стреловой системе. Телескопическое устройство с гидромониторной головкой при этом фиксировали соосно с водоподающим ставом. Далее стрелу вместе с гидромониторной и эрлифтной установками устанавливали в вертикальное положение и при достижении соосности со скважинами опускали в них по очереди.

Вначале в скважину опускали эрлифтную установку. При подходе всаса эрлифта к фосфоритному пласту подавали гидроразрыв и воздух для выдачи гидросмеси. Эрлифт опускали в пласт так, чтобы он не доходил 30—40 см до подошвы пласта.

После этого в соседнюю скважину опускали гидромониторную установку. При подходе гидромониторной головки к фосфоритному пласту — в скважину опускали эрлифтную установку. При подходе гидромониторной головки к фосфоритному пласту к насадкам подавали энергетическую воду, и начиналось гидравлическое разрушение рудного массива. Спуск продолжали на всю мощность пласта. После этого выводили телескопическое устройство в горизонтальное положение.

После вывода телескопического устройства в горизонтальное положение и фиксации его располагали на 30—40 см выше подошвы пласта. На этом подготовительные операции заканчивали и начинали собственно выемку пласта.

После установления соответствующего давления энергетической воды (15—18 кгс/см²) электрическую лебедку управления включали на передний ход и гидромониторную головку подавали на забой. После проходки выработки на полную длину телескопического устройства гидромониторную головку с помощью лебедки управления возвращали назад для транспортирования разрушенной рудной массы к всасу эрлифта. При этом давление энергетической воды уменьшали до 5—7 кгс/см². Эту операцию повторяли 2—3 раза до полной выдачи на поверхность разрушенной рудной массы

в виде гидросмеси. Гидросмесь попадала в зумпф землесосной установки и транспортировалась на склад. Затем телескопическое устройство в собранном состоянии поворачивали на угол 5—7° в горизонтальной плоскости и операции повторяли. Таким образом, производили подрезку пласта на 360°. Движение по кругу повторяли 2—3 раза. По окончании выемки камеры телескопическое устройство выводили в вертикальное положение, фиксировали в нем, после чего гидромониторную установку поднимали на поверхность. Далее на поверхность поднимали эрлифтную установку.

С применением описанных механизмов объем добычи руды с 1 пог. м мощности фосфоритного пласта составил 230—240 т при производительности агрегата 25—30 т/ч руды. Удельный расход воды при этом составлял 3—5 м³/т в зависимости от плотности разрушаемого рудного массива, удельный расход воздуха — 20—30 м³/т.

Проведенные испытания при добыче фосфоритной руды через скважины показали, что основные узлы разработанного гидродобычного агрегата в основном отвечают перечисленным выше требованиям скважинной гидродобычи.

SUMMARY

The requirements to a monitor and air-lift outfits, as well as to hoisting machinery are formulated preceding from the specific features and conditions of hydraulic extraction of phosphorite from wells. The design and test results of a new equipment are described in brief.

СТАТЬЯ. «РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ»*

Оборудование скважинной гидродобычи по своему назначению подразделяется на скважинное для добычи полезных ископаемых (гидромониторы, эрлифты, гидроэлеваторы, гидроэрлифты и др.), подъемно-транспортное для механизации подъемно-спускных и добычных операций и перевозки скважинного оборудования по добычному участку, гидротранспортное, буровое, энергетическое (насосы, компрессоры, электродвигатели) и вспомогательное (бульдозеры, трубоукладчики, краны, автотранспорт и т.д.) (рис. 1).

* Б.В. Исмагилов, А.С. Хрулев.

Зависимость конструкции скважинного оборудования от характеристик рудного пласта и покрывающих пород

Характеристики рудного пласта	Тип разрушающего механизма	Необходимый для струйного разрушения напор воды
Мощные пласты (десятки метров) рыхлых, слабосвязных руд ($\sigma_{сж} < 0,1$ МПа) с горизонтальным, наклонным и крутопадающим залеганием. Длина пролета камеры >20 м	Насадок	до 2,5 МПа
Средней мощности (до 5—10 м) пласты слабосвязных руд ($0,1$ МПа $< \sigma_{сж} < 0,5$ МПа) с горизонтальным или наклонным залеганием. Длина пролета 10—20 м	Насадок, ствол с насадком или гидромониторной головкой	до 10 МПа
Тонкие (до 1 м) пласты связных руд ($\sigma_{сж} > 0,5$ МПа) с горизонтальным залеганием. Длина пролета 5—10 м и менее	Телескопический ствол с насадком или головкой	10 МПа и предварительное рыхление

Оборудование для СГД фосфоритной руды с глубины 20—25 м в затопленной камере и результаты испытаний в промышленных условиях в Кингисеппском производственном объединении «Фосфорит» описаны достаточно подробно [2]. Здесь необходимо лишь отметить, что разработанные ГИГХСом совместно с институтом ВНИПИИстромсырье двухскважинное оборудование с телескопическим и сменными стволами и специальный гидродобычный агрегат на базе подъемных кранов типа ПК-3 и ПК-2 вполне обеспечивают эффективную СГД руд из месторождений, относящихся по горно-геологическим условиям к удовлетворительным, и обеспечивают их рентабельную разработку с глубины 20—25 м.

Однако для разработки месторождений, залегающих на глубине более 25 м, требуется оборудование с секционным ставом. С другой стороны, в связи с увеличением глубины добычи необходимо уменьшить затраты на бурение скважин путем создания односкважинного оборудования, т.е. через одну и ту же скважину производить размыв руды и выдачу ее на поверхность в виде гидросмеси.

В данной статье рассматриваются новые конструкции скважинного оборудования для глубоких зон, результаты их испытания и пути совершенствования. Остальное оборудование выпускается серийно и используется по своему назначению [1].

Выбор конструкции скважинного оборудования в основном обусловлен физико-механическими свойствами рудного пласта и покрывающих пород (табл. 1), глубиной залегания пласта и гидрогеологическими условиями разрабатываемого месторождения.

Глубина залегания рудного пласта влияет на конструкцию вертикального става, а именно на способ стыковки секций вертикального става. Как показали промышленные работы, при глубине до 20—25 м вертикальный став принимается цельным, а при большей глубине — секционным.

Принципиально стыковка секций труб бывает двух типов: Резьбовая, с помощью накидных гаек или серийных муфтовых соединений, и быстроразъемная, с помощью различного рода замковых, защелкивающихся, байонетных и других соединений.

В зависимости от длины става скважинного оборудования принимается тип подъемно-транспортного механизма: для работы с цельносварным ставом это может быть серийный или специально сконструированный кран; для работы с секционным ставом подъемно-транспортный механизм должен иметь устройство для стыковки секций става; в этих целях могут применяться буровые станки вращательного бурения типа 1БА158 или УРБ-3, механизмы для ремонта скважин типа «Бакинец-3М», «Азинмаш-43А» или специальные агрегаты.

Гидрогеологические условия влияют на уровень воды в камере. При малых водопритоках лучше вести добычу в осушенном забое, так как в этом случае достигается большая дальность разрушения гидромониторной струей (до 20—25 м). При больших водопритоках, когда осушение месторождения становится чрезмерно дорогим, добыча ведется в затопленном забое. При этом радиус действия струи уменьшается на порядок, т.е. он составляет не более 2—2,5 м при одном и том же давлении воды. Для увеличения радиуса действия необходимо применять телескопические стволы, повысители давления, высоконапорные насосы и т.д.

Для выдачи руды из затопленной камеры при небольшой глубине (<100 м) можно применять и эрлифт, и гидроэлеватор, а для выдачи руды из сухой камеры — гидроэлеватор. При глубине выдачи более 100 м необходимо применять эрлифт или гидроэрлифт.

- 2) трудно обеспечить герметичность коллектора;
- 3) данная конструкция коллектора создает большие потери напора воды (до 15 %);
- 4) большая длина секций (>12 м) и неуравновешенный слив эрлифта затрудняют сочленение многоставных труб.

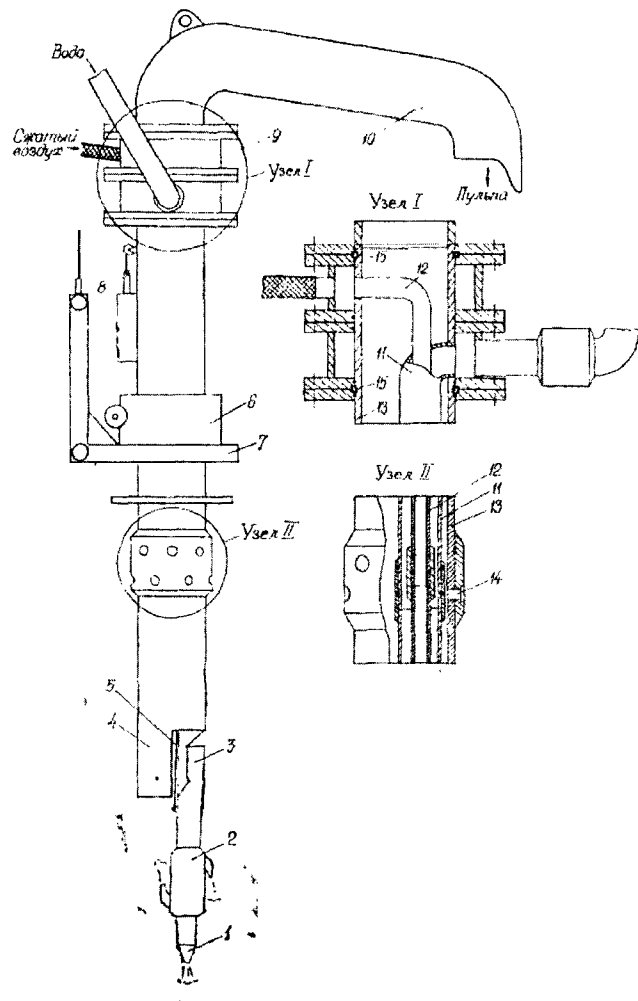


Рис. 2. Односкважинное секционное гидродобычное оборудование с болтовой быстросъемной стыковкой секций:

узел I — коллектор подвода воды и воздуха; узел II — стыковочное соединение; 1 — насадок разрушающий; 2 — головка с транспортирующими насадками; 3 — нижнее колено; 4 — всас эрлифта; 5 — трос управления стволом; 6 — поворотный механизм; 7 — тележка; 8 — гидроцилиндр; 9 — коллектор; 10 — слив; 11, 12, 13 — соответственно водная, воздушная, пульповыдачные трубы; 14 — болты; 15 — резиновый шнур

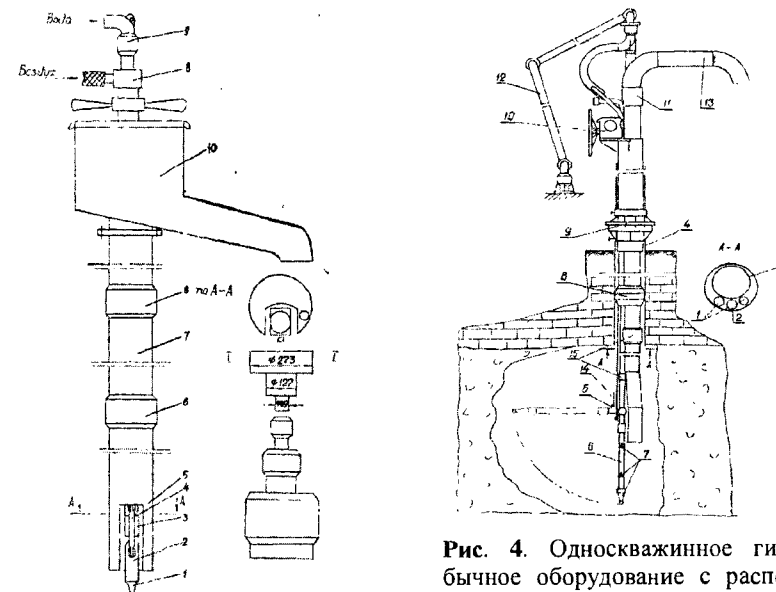


Рис. 3. Односкважинное секционное гидродобычное оборудование с соосным расположением труб:

1 — разрушающий насадок; 2 — ствол; 3 — колено; 4 — тяга; 5 — всас эрлифта; 6 — сменный ствол; 7 — насадки; 8 — фонарь; 9 — поворотный механизм; 10 — лебедка; 11 — гидрошарниры; 12 — водовод шарнирный; 13 — слив; 14 — трос; 15 — узлы стыковки секций вертикального става

Рис. 4. Односкважинное гидродобычное оборудование с расположением труб рядом:

1, 2, 3, 4 — соответственно водная, воздушная, пульповыдачная и обсадная трубы; 5 — нижнее поворотное колено; 6 — сменный ствол; 7 — насадки; 8 — фонарь; 9 — поворотный механизм; 10 — лебедка; 11 — гидрошарниры; 12 — водовод шарнирный; 13 — слив; 14 — трос; 15 — узлы стыковки секций вертикального става

Конструкция односкважинного оборудования второго типа (рис. 3) отличается от предыдущей использованием труб со стандартным муфтовым соединением, широко применяемых в буровой технике. Ввиду этого упрощается изготовление секций, выше надежность герметизации, обеспечивается большая прочность стыковки. Однако у этого метода есть существенный недостаток: с имеющимися механизмами свинчивания можно стыковать только одноставные трубы диаметром до 219 мм. Разработанный институтом ВНИПИИстромсырье и испытанный на ОПУ СГД механизм свинчивания не обеспечивает полной механизации стыковки (зажим наружной трубы и стыковка внутренних труб производятся вручную). Другими недостатками оборудования такого типа являются слабая прочность нижнего поворотного колена и тяги, малое проходное сечение водяной трубы (89 мм) и нижнего поворотного колена (потери напора до 35 % от исходного), большие габариты воздухоотделителя, ручное управление положением ствола гидромонитора.

Добычное оборудование третьего типа (рис. 4) отличается от оборудования двух предыдущих тем, что в нем водовод, воздуховод и пульпопровод расположены в секции рядом и стыкуются накидными гайками и байонетным креплением. Очень важное преимущество этого типа оборудования в том, что пульповыдачная труба свободна, а это уменьшает вероятность закупорки пульпопровода.

При производственных испытаниях этого оборудования было установлено, что расположение гидродомкрата у слива эрлифта затрудняет управление гидромониторным стволом, низка надежность вывода ствола с помощью водяных труб малого сечения, нижнее поворотное колено механически непрочно и габариты скважины не позволяют увеличить его прочность и проходное сечение, велика трудоемкость ручной стыковки секций, а механизировать ее пока невозможно.

Таблица 3

Пути усовершенствования техники и технологии СГД

Проблема	Метод решения, необходимое оборудование
Эффективное разрушение прочных разновидностей рудного пласта ($\sigma_{сж} = 15,0$ МПа)	Высоконапорное оборудование; импульсные повысители давления; предварительное разрыхление (расслабление пласта (взрыв, кислотная обработка, биологическое воздействие)
Доставка в подземной камере от забоя до устья скважины	Подвижной всас: уменьшение угла естественного откоса навали руды химическими добавками
Способ наращивания вертикального става из 2—3 труб скважинного оборудования	Секционирование с быстроразъемным соединением типа байонетного; применение гибких шлангов на всю глубину добычи; механизация с помощью буровых станков вращательного бурения, агрегатов для ремонта скважин типа «Бакинец-3М», «Азин-Маш-43А»
Управление процессом добычи	Специальный гидродобычный агрегат на базе погрузочных кранов; манипулятор самоходный или на санном основании
Защита агрегата и рабочих от провала поверхности около скважины	Ускорение отработки камеры; Заякоривание добычного агрегата (платформы, манипулятора) с помощью тросов; добыча с водной поверхности

Проблема	Метод решения, необходимое оборудование
Секционирование вертикального става скважинного оборудования	Гидродобычный агрегат специальной конструкции; буровой станок вращательного бурения типа УРБ-3, 1БА15В; механизмы для ремонта скважин типа «Бакинец-3М», «Азимаш-43А»; подъемные краны с телескопической стрелой.
Увеличение извлечения	Совершенствование технологии выемки руды из камеры и системы разработки; закладка выработанного пространства и отработка целиков; <u>применение подвижного всаса</u> ; увеличение подвижности руды химическими добавками
Повышение технико-экономических показателей СГД	Попутное облагораживание (обогащение) руды около добычной скважины и захоронение отходов попутного обогащения в отработанные камеры; оборотная схема водоснабжения; уменьшение стоимости проходки и обустройства добычных скважин путем применения турбобуров, шарошечных станков; применение облегченных или пластполимерных труб для обсадки скважин и в высоконапорных трубопроводах; применение обогащенной фосфоритной руды для рекультивации заторфованных земель

Таким образом, сравнительные испытания трех типов скважинного секционного гидродобычного оборудования показали, что наиболее перспективным является оборудование первого типа с быстроразъемным соединением секций и его рекомендуется внедрить в производство с учетом результатов производственных испытаний:

- расположить водовод внутри воздушной трубы;
- упростить узел стыковки секций путем применения соединения типа байонетного с уплотнительными кольцами (не менее двух колец в стыке);
- принять длину каждой секции равной 9 м; кроме того, предусмотреть в комплекте секции меньшей длины для составления става труб необходимой длины;

- уменьшить диаметр коллектора и установить его выше слива пульпоподъемной трубы;
- максимально исключить влияние слива на стыковку секций путем уменьшения веса слива пульпоподъемной трубы, уменьшения его длины или выполнения отдельной стыковки слива после монтажа всех секций;
- для управления гидромониторным стволом использовать пневмоцилиндр, работающий от сжатого воздуха эрлифта, для чего нижнее поворотное колено необходимо выполнить уравновешенным с двухсторонним подводом воды.

Кроме вышеуказанного имеются и другие способы интенсификации производственных процессов СГД и усовершенствования оборудования на основе передовых достижений науки и техники (табл. 3).

ЛИТЕРАТУРА

1. Аренс В.Ж. Геотехнологические методы добычи полезных ископаемых. — М.: «Недра», 1975.
2. Аренс В.Ж., Исмаилов Б.В., Шпак Д.Н. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. — М.: «Недра», 1980.

СТАТЬЯ. «ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕТОДОМ СКВАЖИННОЙ ГИДРОДОБЫЧИ»*

Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых относится к группе геотехнологических методов разработки месторождений с открытым очистным пространством, в ряде случаев заполненным водой и разделенным целиками. Размеры камер и целиков зависят от физико-механических свойств рудного пласта и вмещающих пород, горного давления и принятой технологии отработки месторождения. Но, с другой стороны, проявление горного давления влияет на технологические и конструктивные параметры технологии (порядок отработки скважины, размеры телескопического ствола гидромонитора и т.д.). Образование горных выработок вызывает изменение естест-

венного напряженного состояния в массиве. Например, быстрое камерообразование (в течение нескольких суток) позволяет предположить, что перераспределение напряжений вокруг выработок происходит довольно быстро. Разрабатываемый пласт, как правило, вынимается по всей мощности. Формирование напряжений в потолочине камеры требует учета условий на контакте кровля-пласт и состояния целика. Изменением горно-технических показателей (например, скорости отработки) можно добиться направленного изменения нормальных и тангенциальных напряжений в массиве. Практические задачи безопасного и наиболее рационального (с точки зрения минимизации величины напряжений) ведения горных работ связываются с теоретическими исследованиями по определению напряжений и деформаций вблизи горных выработок [1]. Получить такие данные по расчетам деформаций и замерам смещений в натуре довольно трудно [1]: во-первых, из-за несоответствия используемых механических и прочностных характеристик образцов и массива; во-вторых, потому, что в расчетных схемах недостаточно учтены особенности нагружения массива вблизи выработок; в-третьих, из-за неоднородного строения и нарушенности пород массива.

Целью настоящей работы является определение закономерностей распределения напряжений в массиве вокруг камер СГД методом конечных элементов.

Для этого использовалась разработанная в лаборатории горного давления ИГД им. А.А. Скочинского под руководством д.т.н. Ю.М. Либермана программа для расчета распределения напряжений вокруг выработок в изотропной упруго-пластичной среде. Решение основной системы уравнений для плоской задачи осуществлялось последовательными приближениями по методу начальных напряжений.

При составлении задач использовались варианты с устойчивой кровлей на Кингисеппском месторождении и неустойчивой глинистой кровлей на месторождениях строительных песков Западной Сибири.

В таблице представлены физико-механические характеристики пород разреза, используемые в задачах.

В исходных данных заложены фактические размеры камер (8,8 и 14 м) и целики, сложенные фосфоритным слабосцементированным песком (рис. а, в) и с включениями песчаников (рис. б); на рис. а, б, в кровля известняковая, а на рис. г — глинистая. Нагрузка от вышележащих пород заменена равномерно распределенной нагрузкой на кровлю. Точки закрепления проходят в середине целиков в непосредственной кровле камер и целиках.

* Р.С. Мижерова.

Физико-механические свойства пород

Порода	Прочность на сжатие $\delta_{сж}$, МПа	Коефф. Пуассона ν	Модуль упругости E , МПа	Угол внутреннего трения ρ , рад	Модуль сдвига в пластическом состоянии G , МПа
Известняк	70	0,24	13 000	0,52	2600
Фосфоритный песок	0,3	0,2	330	0,58	65
Песчаник	15	0,24	1800	0,45	360
Суглинок	0,10	0,2	90	0,44	18
Глина	0,15	0,3	100	0,47	2
Строительный песок	0,3	0,2	100	0,52	20

Как видно из графиков, наименьшее напряжение кровля испытывает в центре пролета, а максимальные — в местах заземления кровли, причем напряжения в краевых зонах увеличиваются с увеличением пролета. Максимальные напряжения в кровле, сложенной известняками, не превышают предела прочности пород на сжатие или растяжение. Все элементы кровли находятся в упругом состоянии. Таким образом, в пределах 9—14 м пролет камеры для данных горно-геологических условий является устойчивым.

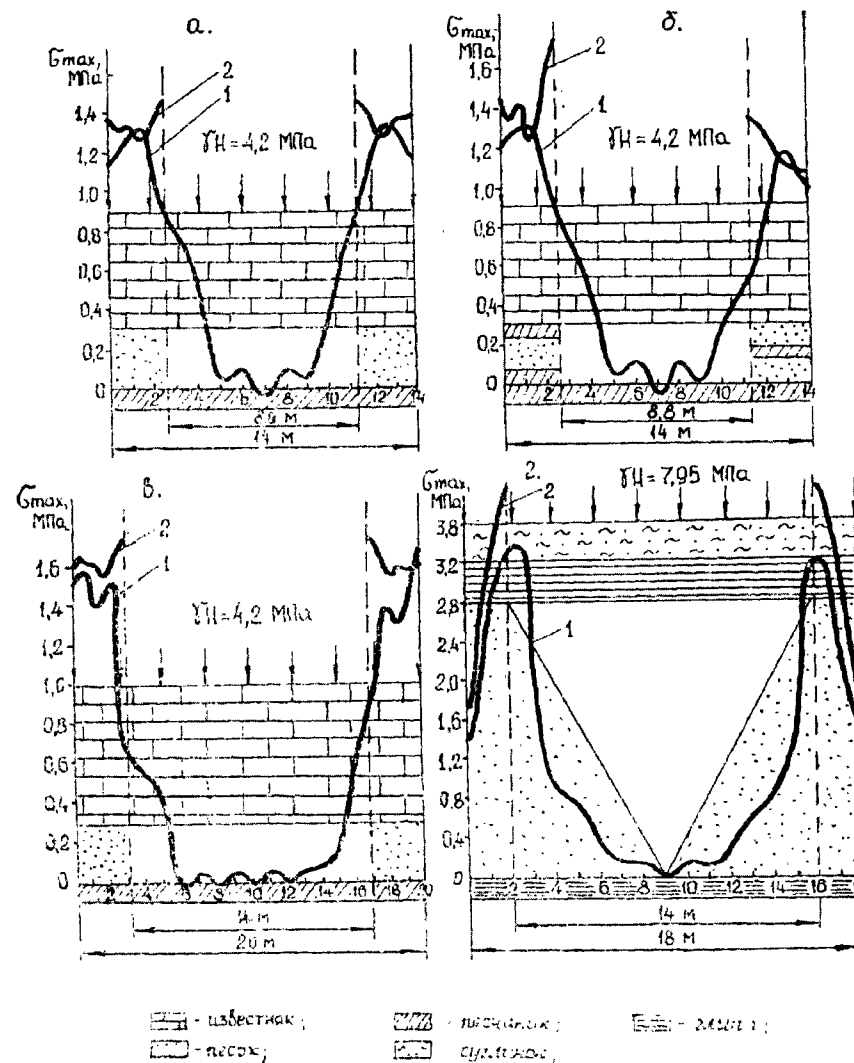
Программа расчета позволяет определять нормальные и тангенциальные напряжения в каждом элементе, а также его физическое состояние.

На рисунке показано распределение максимальных нормальных напряжений. Противоположная картина наблюдается в глинистой кровле. Хотя характер кривой аналогичен, кровля находится в пластическом состоянии, максимальные напряжения достигают 3,4 МПа. Пластическое состояние кровли говорит о том, что в глине пролет 14 м является неустойчивым и, как было проверено раньше на физических моделях, происходит плавное сдвигание кровли с последующим обрушением.

Распределение напряжений в целиках показывает, что высокая их концентрация возникает на стыке между целиками и кровлей камеры. При наличии пропластков песчаников в кровле и подошве целика (рис. б) тах возрастает до 1,8 МПа. Все элементы целика, за исключением песчаников, находятся в пластическом состоянии, тем не менее, целики устойчивы. Это можно объяснить тем, что в местах концентрации напряжений в непосредственной близости от

контура имеет место всестороннее сжатие, при котором резко повышаются прочностные свойства пород [2]. Кроме того, целик зажат между породами, имеющими большую прочность.

Проведенные исследования позволили выявить картину и величины распределения напряжений и определить состояние массива после отработки камер.



Распределение максимальных нормальных напряжений в кровле (1) и целиках (2)

Результаты исследований используются для выбора способа управления кровлей. При упругом состоянии допускается образование камер без закрепления кровли с ограничением размеров пролета в зависимости от свойств горных пород. При пластичном состоянии пород кровлей лучше управлять посредством плавной посадки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Докукин А.В., Чирков С.Е., Норель Б.К. Моделирование предельнонапряженного состояния угольных пластов. — М.: «Наука», 1981.

2. Ильштейн А.М., Либерман Ю.М., Мельников Е.А. и др. Методы расчета целиков и потолочин камер рудных месторождений. — М.: «Наука», 1964.

СТАТЬЯ. «ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАБОТЫ СКВАЖИН ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ГАЗО- И НЕФТЕДОБЫЧИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СКВАЖИННОЙ ГИДРОТЕХНОЛОГИИ»*

Традиционные скважины водоснабжения, нефте- и газодобычи, оборудованные фильтрами, спускаемыми на колонне обсадных труб или сооружаемыми на контакте с продуктивным пластом путем перфорации стенок обсадных колонн, часто не обеспечивают нужной производительности из-за больших гидравлических сопротивлений фильтра и прилегающей за глинизированной зоны, в результате химической и механической кальматации, а также из-за увеличения выноса песка через фильтр при превышении предельной нагрузки.

Значительно повысить производительность таких скважин (в 2—3 раза) при снижении стоимости строительства и обслуживания позволяют скважины с увеличенной приемной зоной, водоприемником в которых является большая полость, формируемая в продуктивном пласте техническими средствами СГТ.

* Бабичев Николай Игоревич — ООО «Научно-производственный центр «Геотехнология».

1. Увеличение дебита скважин водоснабжения

Опыт эксплуатации скважин для добычи воды в России и Белоруссии, названных безфильтровыми, показывает, что они обеспечивают:

- меньшую материалоемкость (отпадает необходимость установки фильтра, снижается диаметр обсадных труб);
- простоту и снижение времени сооружения скважин;
- большую (в 2—3 раза) производительность;
- экономическую эффективность (снижение в 2—3 раза стоимости воды при резком сокращении обслуживания).

Однако такие скважины сооружались лишь в благоприятных горно-геологических условиях — устойчивая кровля, представленная известняками, мергелем или плотными глинами и слабосвязный песчаный водоносный горизонт.

Разработанные технические средства скважинной гидротехнологии, обеспечивающие проходку подземных полостей в породах любой прочности и сооружение на любой глубине искусственных перекрытий, позволяют оборудовать скважины с увеличенной приемной зоной в любых условиях (рис. 1).

Так, при неустойчивых породах в кровле и достаточной устойчивости пород самого водовмещающего пласта водоприемная полость приобретает вид вертикального цилиндра, заполняемого для предотвращения деформации стенок крупнозернистым песком и гравием (рис. 2).

При неустойчивых породах кровли и неустойчивых породах водовмещающего пласта после завершения бурения скважины в нее опускается колонна труб, перфорированная в интервале от кровли до почвы пласта и после спуска в нее скважинного снаряда начинается размыв пород за стенками перфорированной трубы с образованием цилиндрической полости, заполняемой переотложенными крупными фракциями водовмещающего пласта, или при отсутствии таких фракций — крупнозернистым кварцевым песком, подающимся с поверхности. Такой же способ увеличения приемной зоны эффективен при переоборудовании фильтровых скважин в скважины с увеличенной приемной зоной.

При устойчивых породах кровли и неустойчивых водовмещающих породах водоприемная полость выполняется в виде перевернутого конуса с углом заложения боковой поверхности

меньше или равной углу естественного откоса водовмещающих пород под водой. При недостаточной устойчивости пород осуществляется их крепление различными способами. Скважины с такой конфигурацией водопримной зоны получили название «бесфильтровых».

Все виды выше приведенных конструкций скважин с увеличенной водопримной зоной прошли пробные испытания в регионах республики Колумбия. Результаты этих работ приведены в табл. 1.

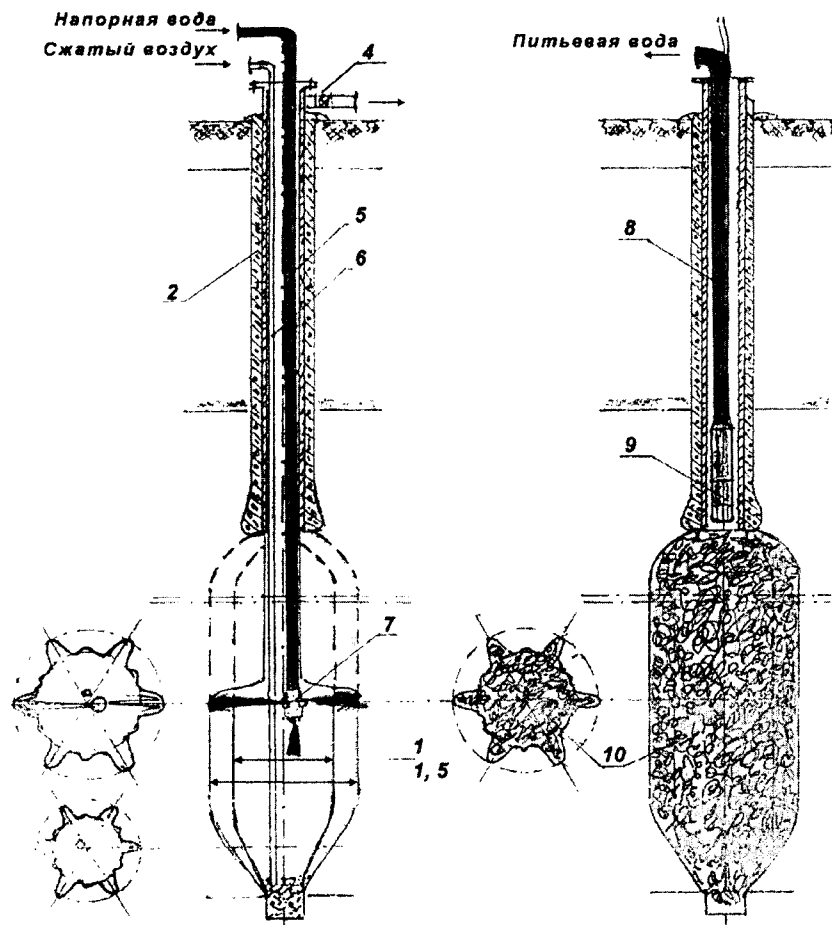


Рис. 1. Скважина с увеличением приемной зоной для водоносных залежей с устойчивыми водовмещающими породами:

1 — обсадная колонна; 2 — затрубная цементация; 3 — искусственная кровля; 4 — удаление пульпы; 5 — водоподающая колонна; 6 — воздухоподающая колонна; 7 — гидромониторный узел; 8 — водовыдачная колонна; 9 — погружной насос; 10 — гравийная засыпка.

Как видно из табл. 1, увеличение приемной зоны позволило поднять дебит не менее чем в 2—3 раза и повысить качество откачиваемой воды за счет снижения содержания твердых взвесей. Вода стала практически прозрачной.

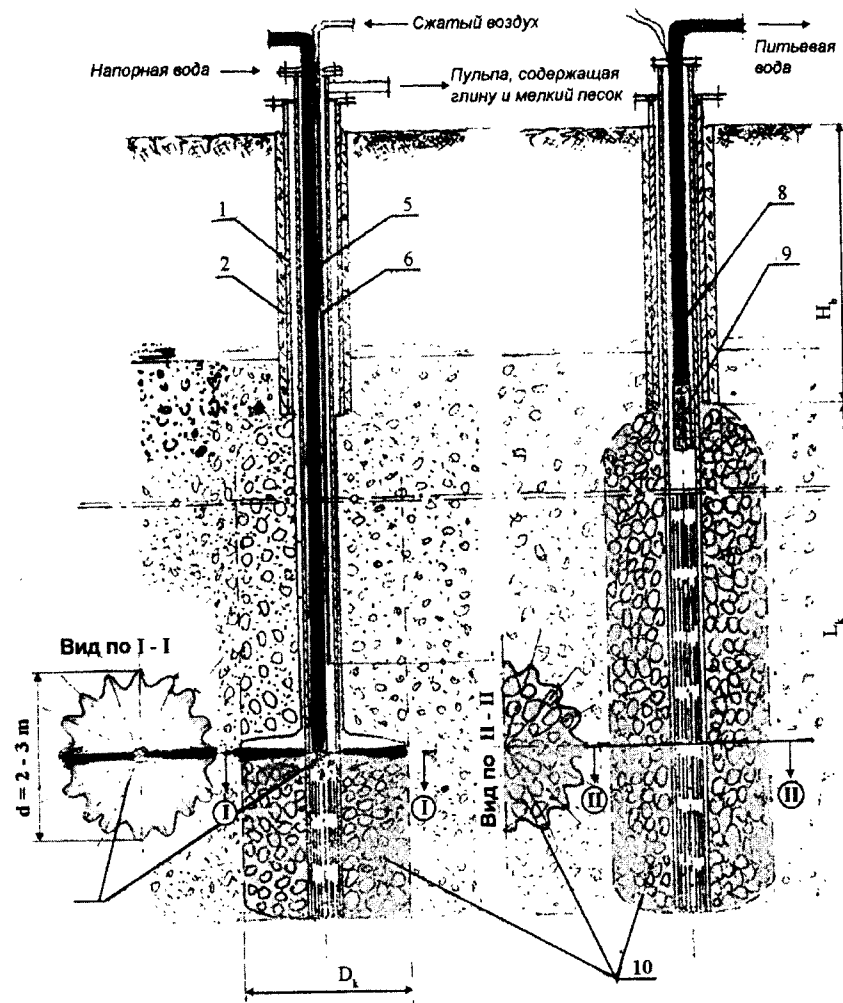


Рис. 2. Скважина с увеличением приемной зоной для водоносных залежей с неустойчивой кровлей и неустойчивыми разноразмерными породами водовмещающего горизонта:

1 — направляющая колонна труб; 2 — затрубная цементация; 3 — колонна обсадных труб с перфорированной нижней зоной (4); 5 — став водоподающих труб; 6 — став воздухоподающих труб; 7 — гидромониторный узел; 8 — водовыдачная став; 9 — погружной насос; 10 — гравийная засыпка

Таблица 1

№ №	Название скважины район бурения	Глубина залегания и мощность горизонта, м/м	Дебит скважин		
			Дебит до начала работ	Реальн. дебит скважин после бурения или восстановления	Отношение новый/старый
1	Госпиталь-1 город Пурификасьон Департамент Толима	80/10	Средняя по району 2	Скважина новая 4	2,7
2	Порвинир Гранада департамента МЕТА	140/20	До очистки 7	После очистки 27	3,9
3	ЭЛ Ампара город Гранада департамента МЕТА	165/55	До очистки 37	После очистки 95	2,6
4	«Корвинир» город Вилла Лисенсио департамента МЕТА	60/20	Средняя по району 3	Скважина новая -12	4
5	Турмеке департамент Бояка	40/4	Средняя по району 0,5	Скважина новая -1,3	3

2. Интенсификация добычи газа

Использование технологии и технических средств СГТ для восстановления газодобывчных скважин было осуществлено в США в угольном бассейне Сан Хуан, штат Нью-Мексико. Угольный пласт мощностью около 1м залегает на глубине 1 км содержит в больших объемах метан. В 1993 году в НПЦ «Геотехнология», владеющей лицензией на право проектирования объектов добычи полезных ископаемых с применением технологии скважинной гидродобычи, обратилась фирма «Ресурс-Девелпмент» по вопросу создания подземных полостей в забойной зоне газодобывчных скважин для восстановления их дебита. Работы были выполнены в течение года по предложенному НПЦ «Геотехнология» проекту на 5 скважинах, выведенных из добычи из-за падения дебита.

В результате проведенных работ производительность скважин возросла в 4—6 раз по сравнению с первоначальным.

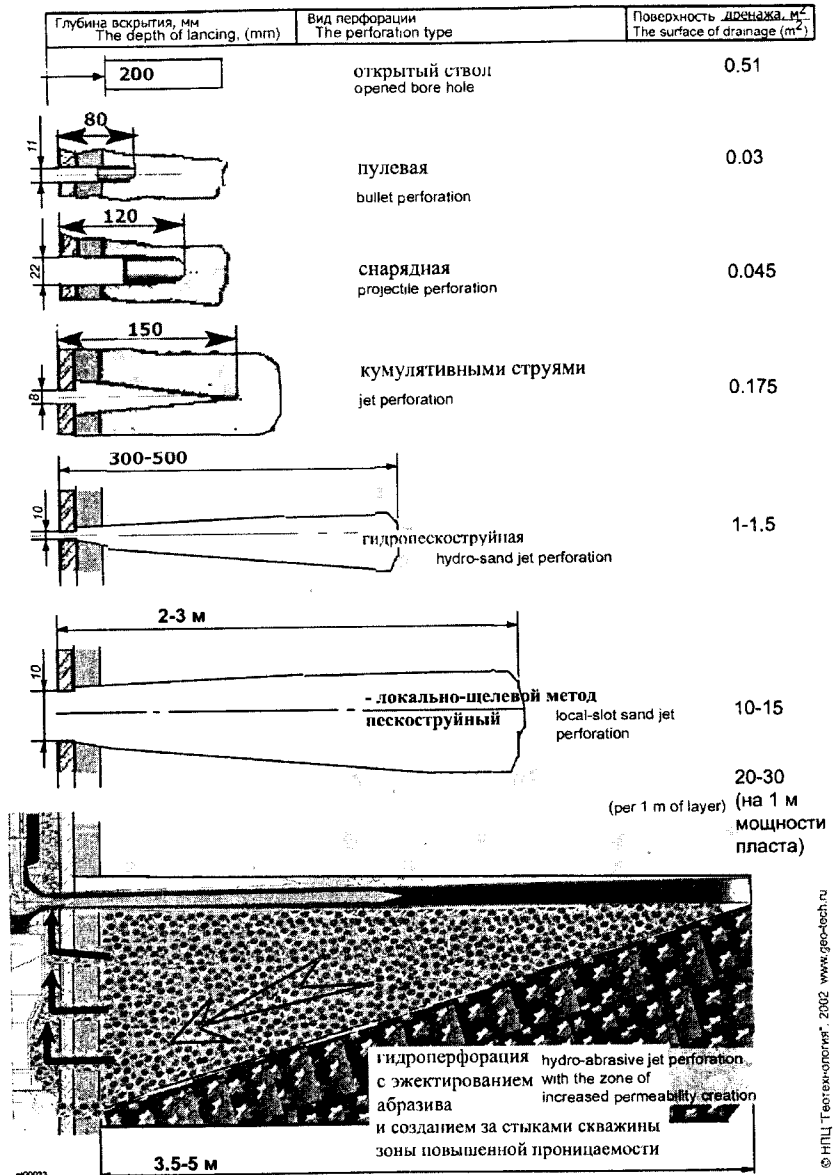


Рис. 3. Результаты различных видов перфорации

Комплект оборудования применяемого для работ по созданию коллекторов состоял из поршневого высоконапорного насоса PZ-8 Гарднер Денвер, используемого при бурении нефтегазовых скважин и передвижной компрессорной станции.

Коллектора проходились скважинным добычным снарядом СГС-14 (патент США 4934466 от 19 июня 1992 г.). В забое скважины размещали снаряд скважинной гидродобычи и подачей высоконапорной воды разрушали горный массив на горизонте газоносности выполняя в нем радиальные выработки на глубину до трех метров и по высоте равные мощности газоносного пласта (средний диаметр каверны 5 м).

Снаряд скважинной гидродобычи изготовлялся по разработанным в НПЦ «Геотехнология» чертежам на заводе в г. Денвер. Двухтрубный став собирался из труб нефтяного сортамента.

3. Интенсификация добычи нефти

Большой интерес для промышленности разных стран мира в ближайшие десятилетия будет представлять интенсификация нефтеотдачи скважин проходкой протяженных коллекторов с использованием гидроперфораторов с эжектированием абразивных материалов.

Выбор рационального способа вскрытия продуктивных пластов при использовании вращательного способа бурения, предусматривающего применение промывочной жидкости, является одной из сложнейших проблем современной техники и технологии добычи нефти и газа (рис. 3).

В настоящее время наиболее применяемыми способами вскрытия пластов является перфорация пулевыми, торпедными и кумулятивными перфораторами. Однако все они обладают следующими недостатками:

- относительно небольшой вскрытой поверхностью (менее 1 % от поверхности труб) в пределах пласта;
- уплотнением пород в местах вскрытия;
- возможностью разрушения из-за большой мощности взрыва, обсадной колонны и выхода скважины из числа действующих.

Этих недостатков лишен гидропескоструйный способ вскрытия, основанный на местном эрозионном разрушении обсадной колонны, цементного кольца и продуктивных пород струей жидкости с песком, истекающей с большой скоростью из насадок, направленных в сторону скважины. За короткое время струя жидкости с песком образует отверстие или щелевидную прорезь в обсадной колонне, цементном камне и разрушает продуктивные породы за стенкой на относительно большом расстоянии с выносом разру-

шенных частиц из образуемой полости. Других опасных нарушений обсадных труб и цементного камня при этом не происходит. Однако высокая абразивная способность песка приводит к износу насосного оборудования и труб, по которым эта смесь прокачивается. Этому недостатка лишена новая технология вскрытия продуктивных пластов, с использованием гидроперфораторов с эжектированием абразивного материала, при которой насосы подают промывочную жидкость (без добавки глинистого материала) в специальное смесительное устройство, где формируемая струя сама эжектирует абразивный материал и направляет его на объект разрушения (рис. 4). Сжатый воздух, подающийся под давлением большим, чем давление столба жидкости в местах перфорации, отжимает уровень пульпы ниже оси струи, обеспечивая ей дальность полета 2—3 м от оси скважины. По мере разрушения пород в забое происходит их классификация по крупности. При этом наиболее крупные фракции вместе с частью абразивного материала оседают на дно образующейся целевой выработки, предотвращая деформацию стенок. Мелкий материал вместе с потоком отработанной жидкости поступает снова в ствол скважины, где по межтрубному пространству выдается на поверхность. В комплект оборудования, применяемого для пескоструйной перфорации, входят высоконапорный поршневого насос и компрессор. Технология резания стальных труб и цемента путем эжектирования абразива прошла опытные испытания на стенде в городе Гранада штата Мета (Колумбия).

Таким образом, вокруг ствола скважины образуется зона повышенной проницаемости, обеспечивающая приток нефти к скважине. Это позволяет поднять дебит откачки и общее извлечение из скважины, т.к. при прострелочных работах перфорируется только зона, составляющая менее 1 процента от общей поверхности трубы, контактирующей с продуктивным пластом.

При применении новой технологии вскрытия продуктивных пластов между взаимодействующей скважиной и самим пластом в зоне повышенной проницаемости создается буферная емкость объемом в десятки кубометров, позволяющая интенсифицировать процесс нефтеотдачи пласта. Это позволяет на первом этапе рекомендовать такую технологию вскрытия, прежде всего для восстановления дебита старых скважин и на новых скважинах, вскрывающие пласты с низкими фильтрационными свойствами.

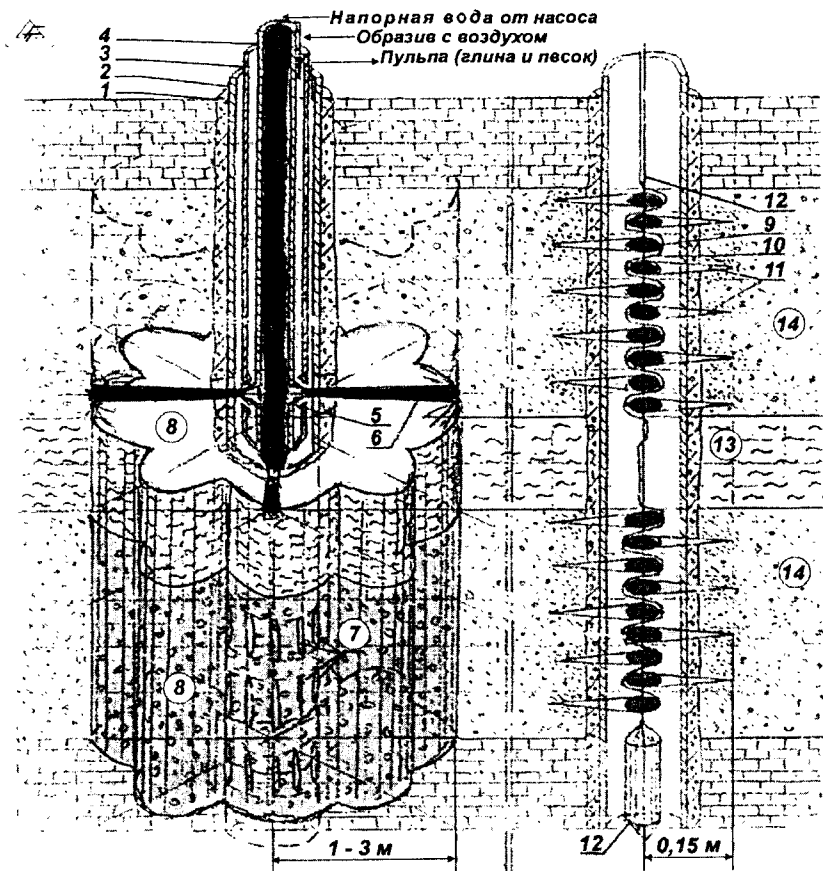


Рис. 4. Вскрытие продуктивных слоев перфораторами различных типов: *а* — гиперперфоратором с эжектированием абразива; *б* — кумулятивным перфоратором; 1 — буровая скважина с затрубной цементацией; 2 — обсадная колонна; 3 — колонна труб для подачи абразива в струю сжатого воздуха; 4 — водоподающая колонна; 5 — гидромониторный узел; 6 — струя гидромонитора; 7 — щелевые отверстия проперфорированные в обсадной колонне и цементном стакане; 8 — полость, жаполненная абразивом и крупными фракциями из залежи; 9 — кумулятивный заряд; 10 — детонирующий шнур; 11 — перфорации в обсадной колонне и цементном кольце; 12 — геофизический кабель; 13 — слой непроницаемых пород; 14 — продуктивный слой.

4. Ускорение строительства подземных хранилищ для жидких нефтепродуктов и газоконденсата

Недостатком применяемых технологий строительства подземных хранилищ в массивах соли является низкая реакционная поверхность в начальный период и как следствие — большой срок строительства (1 млн баррелей — 3—5 лет), невыдержанность

формы (уход стенок) и относительно низкая устойчивость стенок полости. Этих недостатков лишена новая технология (патент США № 5127710 от 7 июля 1992 г. и патент Российской Федерации № 2078212 от 16 марта 1994 г.), которая начинает применяться при сооружении в соляных массивах подземных хранилищ для жидких и газообразных продуктов. Способ включает вскрытие соляного пласта буровыми скважинами, гидроизоляцию пород кровли установкой обсадной колонны, размещение в скважине гидродобычного снаряда. После этого осуществляют подачу воды под давлением, размыв и растворение соли с одновременной выдачей образующего раствора на поверхность. В стенках скважины образуются подготовительные щелевые выработки, имеющие после проходки поверхность, превышающую максимальную площадь стенок хранилища в период его эксплуатации. Поэтому после подачи растворителя соляем идет с максимальной скоростью и срок строительства сокращается до 8—12 мес. с соответствующим сокращением расходов.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ГЛАВА I	6
1. Проблемы скважинной гидродобычи полезных ископаемых..6	
1.1. Способ скважинной гидродобычи полезных ископаемых. Основные понятия и представления.....	6
1.2. Технологические процессы при скважинной гидродобыче ...9	
1.3. Варианты реализации метода СГД.....	14
1.4. Состояние работ по скважинной гидродобыче	35
1.5. Научные и инженерные задачи применения СГД.....	63
1.6. Методология прогнозирования параметров СГД.....	66
ГЛАВА II.....	69
2. Физико-геологические вопросы разработки месторождений способом СГД.....	69
2.1. Факторы, определяющие возможность применения способа СГД	69
2.2. Влияние основных физико-геологических характеристик месторождения на технологию и оборудование СГД.....	70
2.3. Особенности инженерно-геологических изысканий и геологического обслуживания предприятия СГД.....	72
2.4. Минеральная база СГД.....	73
ГЛАВА III	80
3. Основные технологические процессы скважинной гидродобычи	80
3.1. Вскрытие и подготовка руды при СГД	80
3.2. Гидравлическое разрушение руды и ее доставка	83
3.2.1. Гидромониторная струя	86
3.2.2. Параметры гидромониторного разрушения	88
3.2.3. Доставка разрушенных горных пород при СГД.....	100
3.3. Подъем на поверхность горных пород при СГД.....	106
3.3.1. Гидравлическое всасывание руды	109
3.3.2. Эрлифтный подъем руды при СГД.....	114
3.3.3. Гидроэлеваторный подъем	118
3.3.4. Землесос	122
3.4. Управление горным давлением	124
3.5. Методики оптимизации параметров процесса скважинной гидродобычи на стадии создания предприятия.....	133
ГЛАВА IV	137
4. Технология и техника сооружения скважин гидродобычи	137
4.1. Типы и назначение скважин гидродобычи	137
4.1.1. Бурение наклонных и направленных скважин.....	138
4.2. Конструкции скважин.....	139
4.3. Обсадные колонны.....	141
4.4. Технология проходки скважин гидродобычи Горно-геологические условия.....	149
4.5. Современные буровые установки.....	168
ГЛАВА V	178
5. Экономические аспекты разработки месторождений методом СГД.....	178
5.1. Выбор метода разработки месторождения	178
5.2. Производительность труда при СГД.....	181
5.3. Анализ некоторых экономических вопросов, связанных со вскрытием месторождения	184
5.4. Анализ экономических показателей разработки месторождения	187
ГЛАВА VI	193
6. Основы проектирования разработки месторождений методом СГД.....	193
6.1. Задачи и особенности проектирования разработки месторождений методом СГД.....	193
6.2. Исходные данные (регламент) для проектирования.....	195
6.3. Подготовка и вскрытие месторождения	200
6.4. Выбор конструкции добычных скважин.....	202
6.5. Технология добычи.....	203
6.6. Система разработки и сетка расположения скважин.....	204
6.7. Расчет параметров гидродобычных камер и межкамерных целиков.....	212
6.8. Извлечение руды при СГД.....	219
6.9. Выбор основного оборудования для предприятий СГД.....	221
6.10. Освоение проектной мощности рудника СГД.....	222
Глава VII.....	226
7. Методики инженерного расчета технологических процессов выемки при СГД.....	226
7.1. Общая методика выбора параметров технологии СГД	226
7.2. Расчет параметров гидромониторного разрушения.....	228
7.3. Расчет параметров доставки пород в камеру.....	229
7.4. Расчет параметров подъема гидросмеси	230

7.5. Расчет параметров системы разработки.....	233
7.6. Методики расчета параметров выемки при разработке мерзлых погребенных россыпей способом СГД	233
7.7. Пример расчета параметров технологии и технических средств скважинной гидродобычи титано-цирконовых песков	237

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА	253
---------------------------------------	-----

ПРИЛОЖЕНИЯ	256
1. Список авторских свидетельств по СГД	256
2. «Разработка и испытание добычных агрегатов для скважинной гидродобычи фосфоритных руд».....	265
3. «Результаты испытания оборудования для скважинной гидродобычи полезных ископаемых».....	270
4. «Исследование напряженного состояния массива при разработке месторождений методом скважинной гидродобычи»	279
5. «Интенсификация работы скважин водоснабжения, газо- и нефтедобычи с использованием скважинной гидротехнологии»	283
Увеличение дебита скважин водоснабжения	284
Интенсификация добычи газа.....	287
Интенсификация добычи нефти	289
Ускорение строительства подземных хранилищ для жидких нефтепродуктов и газоконденсата	291

Виктор Жанович **Аренс**
 Николай Игоревич **Бабичев**
 Алексей Дмитриевич **Башкатов**
 Олег Михайлович **Гридин**
 Александр Сергеевич **Хрулев**
 Георгий Хачатурович **Хчеян**

СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Режим выпуска «стандартный»

Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета *И.А. Бокатенко*
Дизайн серии *Е.Б. Капралова*

Диапозитивы изготовлены в Издательстве МГУ

Подписано в печать 18.07.2007. Формат 60×90/16.
Бумага офсетная № 1. Гарнитура «Times».
Печать офсетная. Усл. печ. л. 18,5.
Тираж 500 экз. Заказ 839

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»

Отпечатано в ОАО «Московская типография № 6»
115088 Москва, ул. Южнопортовая, 24

Магнєвые штампы изготовлены в Первой
Образцовой типографии

**Горное
образование**



119991 Москва, ГСП-1, Ленинский проспект, 6,
Издательство «Горная книга»;
тел. (495) 236-97-80; факс (495) 956-90-40;
тел. факс (495) 737-32-65